

Abschrift der Referate von dem Wissenschaftlichen Forum
am 10.12.1988 im Kirchenzentrum der Friedenskirchengemeinde
Am Fredenberg in Salzgitter-Lebenstedt

Thema: Eine Region wird verstrahlt - Radioaktive
Niedrigstrahlung und Strahlenschutz in
und um SCHACHT KONRAD

ReferentInnen und Themen:

Prof. Dr. W. Köhnlein, Universität Münster:

"Die Wirkung niedriger Strahlendosen - eine Einführung"

Prof. Dr. Inge Schmitz-Feuerhake, Universität Bremen:

Beruflich strahlenexponierte Personen - wie z.B.
Beschäftigte bei der Bahn und im Endlager"

Dipl.-Physikerin Ulrike Fink, Gruppe Ökologie Hannover:

"Grundlagen der Strahlenschutzpolitik"

Dipl.-Physiker Michael Schmidt, Institut für Energie- und
Umweltforschung Heidelberg:

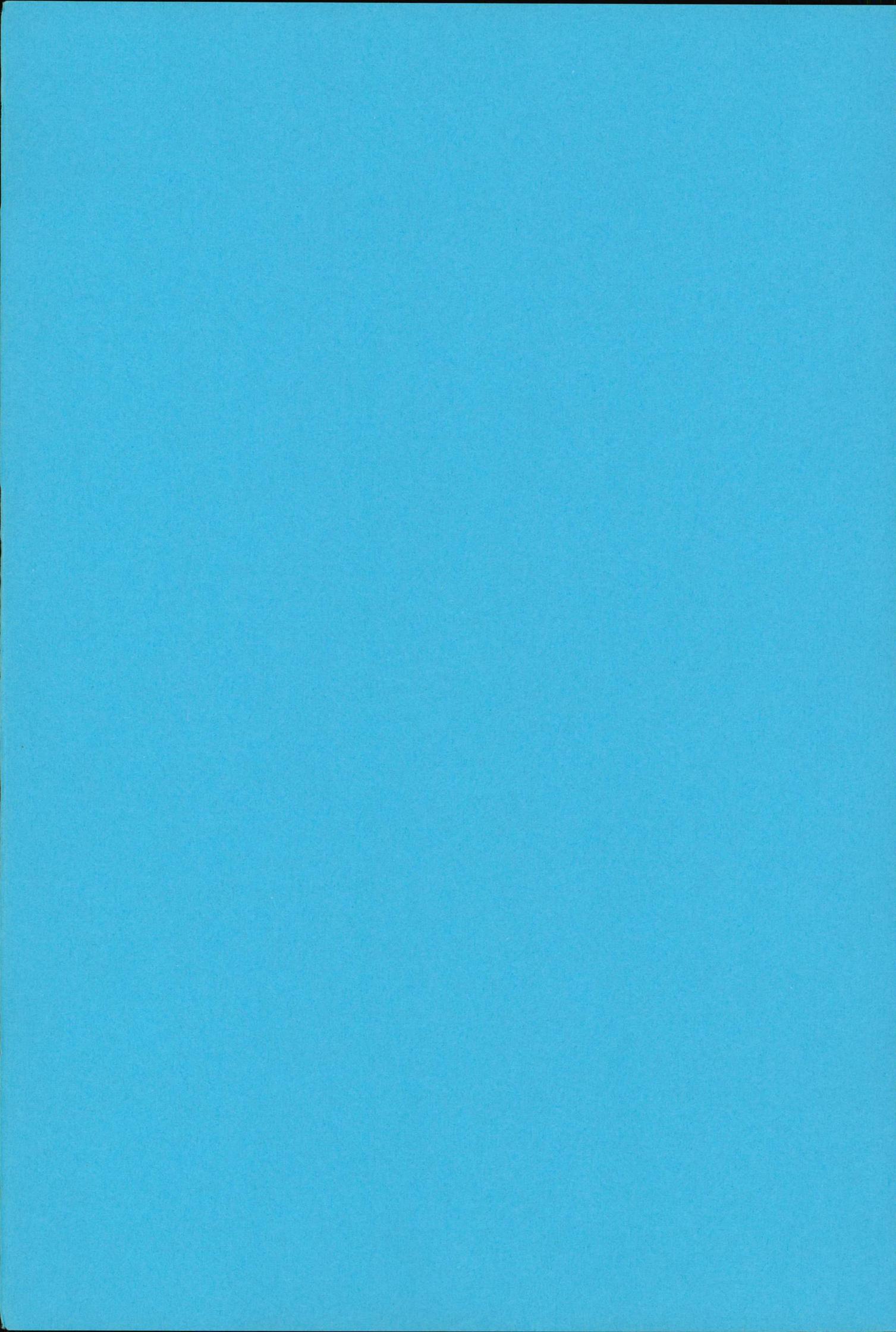
"Novellierung der Strahlenschutzverordnung - kein
Bedarf an strengeren Grenzwerten !?"

Veranstalter: BUND, DBV, IG Metall und Umweltschutzforum
SCHACHT KONRAD aus Salzgitter und der Kirch-
liche Dienst in der Arbeitswelt

Herausgeberin: Arbeitsgemeinschaft SCHACHT KONRAD e.V.,
Geschäftsstelle: Petzvalstr. 50, Braunschweig
Tel.: 0531-37 81 21/22, Telefax 0531-37 81 51
Öffnungszeiten: Mo - Do 8.00 - 17.00 Uhr
Fr 8.00 - 12.30 Uhr

Bankverb.: Postbank Hannover Kto.-Nr. 3787-52-308
BLZ 250 100 30
NORD/LB Wolfenb. Kto.-Nr. 9 344 250
BLZ 250 500 00

Selbstkostenpreis: 7,00 DM



Neuere Erkenntnisse zur Wirkung niedriger Dosen
ionisierender Strahlung

Prof. Dr. W. Köhnlein
Institut für Strahlenbiologie
Hittorfstrasse 17
Universität Münster

Es gilt als experimentell gesichert und ist unbestritten bei Befürwortern und Gegnern der Atomtechnologie, daß ionisierende Strahlung Mutationen, Krebs und Mißbildungen beim Menschen hervorrufen kann. Mutationen, Krebs und wahrscheinlich auch Mißbildungen sind stochastischer Natur, das heißt zufallsbedingt. In einer großen Zellpopulation werden bereits kleinste Bestrahlungsdosen in einigen Zellen Mutationen auslösen, die dann zur Entartung der Zelle führen können. Ganz im Gegensatz dazu wird die akute Strahlenkrankheit erst bei Ganzkörperdosen von > 1 Sievert (100 rem) beobachtet. Es ist mittlerweile auch geklärt, daß im Bereich kleiner Strahlendosen keine Abnahme der spontanen Rate der Mutationen bzw. chromosomalen Veränderungen beobachtet wird (Traut 1988, Lloyd et al. 1988). Der von einigen Wissenschaftlern sehr propagierte Effekt der biopositiven Strahlenwirkung (Strahlenhormesis) tritt bei den für den Menschen wohl bedeutsamsten Strahlenfolgen, nämlich Krebs und Mutation, nicht auf.

Dagegen sind die Wissenschaftler hinsichtlich der Frage, wie die bei höheren Dosen und in experimentellen Systemen – also bei Versuchstieren – gewonnenen Erkenntnisse über die kanzerogene, mutagene und teratogene Wirkung der Strahlung auf den Menschen und auf den Bereich sehr kleiner Dosen übertragen werden können, in zwei konträre Lager gespalten.

Diese Kontroverse wird besonders deutlich in einer Darstellung der Dosis-wirkungsbeziehungen, die der Zeitschrift Nature vom 29.1.1987 entnommen wurde (Abb. 1). Die bei höheren Dosen verfügbaren Daten sind zu ungenau, so daß eine Extrapolation zu niedrigen Dosen zu einer Art Weltanschauung wird. Aber auch hier zeichnet sich allmählich eine Klärung der Situation ab, wie aus einer Reihe neuerer und neuester Arbeiten zu entnehmen ist (Waldren et al. 1986; Stewart und Kneale 1988; Gofman 1988).

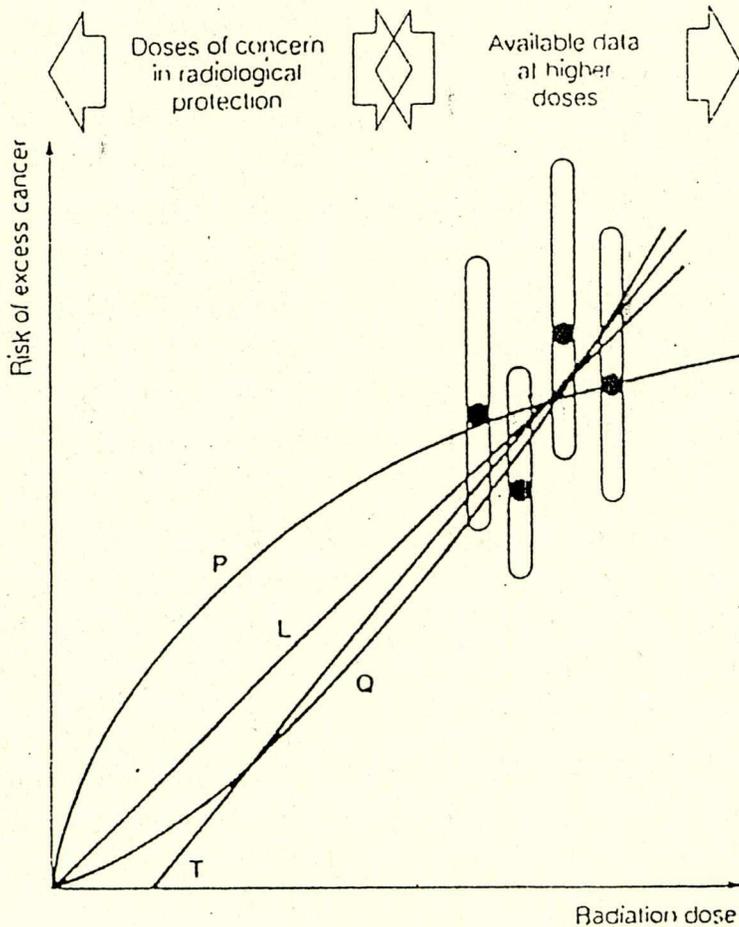


Abb.1 Die Punkte geben die zusätzlich beobachteten Krebsfälle in mit unterschiedlichen Dosen bestrahlten Personen-gruppen an. Die Fehlerbalken repräsentieren die Unsicherheit der Ergebnisse. Unter 4 verschiedenen Annahmen wird eine Extrapolation zu niedrigen Dosen vorgenommen, mit recht unterschiedlichen Risikoaus-sagen in diesem Dosis-bereich.

Kanzerogene Wirkung

Bis zu Beginn der 70iger Jahre war man der Meinung, daß nur relativ hohe Dosen kanzerogen seien und daß unterhalb einer bestimmten Schwellendosis kein Krebs induziert wird. Diese Auffassung ist in der Folgezeit durch das lineare Dosiswirkungsgesetz bzw. durch ein linear-quadratisches Gesetz substituiert worden. Eine im Bereich kleiner Dosen stärker als linear ansteigende Strahlenwirkung wird in neuerer Zeit von verschiedenen Autoren vorgeschlagen, um die beobachteten zusätzlichen Krebsfälle zu beschreiben. So etwa von Mancuso et al. 1977; Najarian und Colton 1978; Brown 1976; Barnaby 1980. Die Hanfordstudie (Mancuso et al. 1977), die Untersuchungen an den Dockarbeitern in Portsmouth (Najarian und Colton 1978), die Befunde von Johnson in Colorado (1977) und die Ergebnisse der Untersuchungen von Franke und Alvarez (1985) über die Krebshäufigkeit in der Bevölkerung in der Nähe der Savannah River Atomanlagen deuten ebenso wie die Arbeiten von Bross (1972) über die durch Röntgendiagnostik ausgelösten Krebserkrankungen darauf hin, daß eine lineare Dosiswirkungsbeziehung die Strahlenwirkung im niedrigen Dosisbereich unterschätzt. Die erwähnten Studien sind wiederholt kritisiert worden (Fremlin 1980). Doch wurde auch aufgrund dieser Untersuchungen von verschiedenen Seiten eine Reduktion der maximal zulässigen Strahlenexposition für Strahlenarbeiter und für die Bevölkerung gefordert (Rotblatt 1978, Morgan 1979). In zwei neueren Untersuchungen über die Häufigkeit von Leukämiefällen bei Kindern in der Nähe atomtechnischer Anlagen (Roman et al. 1987, Darby et al. 1987) wird übereinstimmend für beide untersuchten Gebiete (Berkshire/North Hampshire in England und Dounreay in Schottland) eine Erhöhung festgestellt. Als Erklärung für die vermehrt auftretenden Leukämien werden verschiedene Gründe und Mechanismen angegeben. Inwieweit Strahlenbelastung hier eine Rolle spielt, ist noch nicht restlos geklärt. Möglicherweise wurden die aus den radioaktiven Abgaben resultierenden Strahlenbelastungen der roten Knochenmarkszellen unterschätzt.

Die gegenwärtigen Risikoabschätzungen beruhen auf den Krebsstatistiken der etwa 91 000 Atombomben-Überlebenden aus den Jahren 1950 - 1978 und auf sehr spekulativen linear-quadratischen Extrapolationen der Effekte bei höheren Dosen zu niedrigen Dosen (ca. 0,2 Sv), bei denen bis 1978 noch keine oder nur sehr wenige zusätzliche Krebstodesfälle aufgetreten waren. Diese Extrapolationen sind nach neuester Erkenntnis eine starke Unterschätzung des tatsächlichen Krebsrisikos bei kleinen Bestrahlungsdosen (Nußbaum 1985; Stewart und Kneale 1988; Gofman 1981, 1988). Eine Neubewertung der Re-

chenmodelle, die zur Ermittlung der Dosis der einzelnen Überlebenden benutzt wurden, ergab, daß die alten Dosiswerte zu hoch waren (ca. Faktor 2). So mußten viele der Überlebenden anderen Dosiskohorten zugeordnet werden (Preston und Kato 1987). Weiter sind aber im Laufe der Zeit immer mehr Krebsfälle auch bei den nur mit kleinen Dosen bestrahlten Überlebenden aufgetreten (Science 18.12. 1987, P. 1649). Da die gegenwärtigen offiziellen Abschätzungen des Krebsrisikos von ICRP, BEIR und UNSCEAR weder die neuen Krebsstatistiken noch die revidierte Dosimetrie berücksichtigen, können sie nicht mehr als Grundlage des Strahlenschutzes betrachtet werden, sondern müssen als rein hypothetische Extrapolationen von stark fehlerhaftem Datenmaterial angesehen werden. In der folgenden Tabelle sind die von verschiedenen Seiten ermittelten Risikoabschätzungen zusammengestellt.

Das Mindestrisiko wurde aus den bereits bis 1982 vorliegenden Krebstodesfällen der Hiroshima-Nagasaki-Daten ermittelt. Daraus ergibt sich mit einem Faktor von Preston, et al. (1986) das Lebenszeit-Krebsrisiko (Tabelle, letzte Spalte). Diese Werte sind dann mit den Angaben der ersten Spalte vergleichbar. Da nach den Angaben von BEIR 80, ABCC 73 und Preston (1987) nicht alle Krebstodesfälle als solche erkannt werden, sind die unter den Atombomben-Überlebenden gefundenen Krebsfälle mit einem Faktor von 1,23 zu multiplizieren. Das führt dann zu den korrigierten Risikofaktoren. Von Gofman durchgeführte Regressionsanalysen der Krebsfälle im niedrigen, mittleren und hohen Dosisbereich ergaben, daß die Dosiswirkungsbeziehungen am besten durch eine supralineare Kurve darstellbar sind. Die Kurve verläuft bei niedrigen Dosen steiler als bei höheren Dosen. Auf diese Weise gelangt man zu noch höheren Risikoabschätzungen für die Dosisbereiche um 0,1 Sv und 0,05 Sv.

Da Dosen im Bereich um 0,01 Sv bis 0,05 Sv von vielen Millionen Menschen durch medizinische und berufliche Exposition absorbiert werden, ist die sehr klare Forderung aus diesen neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen eine erhebliche Absenkung der bisher als zulässig akzeptierten und tolerierten Strahlenbelastung für beruflich Exponierte und für die allgemeine Bevölkerung.

Tabelle

Risikoabschätzung nach Niedrigdosis-Exposition.

Es ist die Anzahl der tödlich verlaufenden Krebserkrankungen nach Bestrahlung mit 0,01 Sv angegeben, wenn jeweils 10 000 Personen niedrigen Dosen ionisierender Strahlung ausgesetzt waren.

Lebenszeit-Krebsrisiko		Mindest-Krebsrisiko	Lebenszeit-Krebsrisiko
		Gofman 1988	
UNSCEAR 77	1,0	unverändertes Datenmaterial	10,1
ICRP 77	1,25	1950 - 1982	33,7
BEIR 80	2,26	korrigiert für Unterdiagnose	12,4
Gofman 81	37,71	Dosisbereich 0,1 Sv	6
Preston 87	16		20
Nußbaum 88	15 - 30	Dosisbereich 0,05 Sv	9,7
			32,5

Welche weitreichenden Konsequenzen die neuen Erkenntnisse haben, wird am deutlichsten, wenn man die durch den Tschernobyl-Unfall in Europa in den nächsten 70 Jahren zusätzlich hervorgerufenen tödlichen Krebsfälle einmal nach der alten Risikoabschätzung der ICRP und einmal nach dem aus den neuesten epidemiologischen Daten ableitbaren Risiko ermittelt. Im ersten Fall erhält man 28 000 Krebsopfer, im zweiten Fall zwischen 350 000 und 650 000 für Europa und die UDSSR in den nächsten 70 Jahren. Diese erschreckend hohe Zahl kommt zustande, wenn man bei der Risikoermittlung die Krebsmortalitätsrate der Atombombenüberlebenden im niedrigen Dosisbereich (0,1 Sv) bis 1982 berücksichtigt und noch die alte Dosisermittlung (T65D) benutzt. Mit der revidierten Dosimetrie (DS86) und der Krebsstatistik 1950 bis 1985 erhält man etwas kleinere Werte, aber immer noch zwischen 200 000 und 300 000 zusätzliche Krebsfälle als Folge von Tschernobyl. Die Folgen eines größeren Unfalls in der Kerntechnologie sind in der Tat alarmierend. Jeder Versuch, das Ausmaß des Tschernobyl-Unfalls und seine wesentlichen Auswirkungen auf die Bevölkerung Europas durch unrichtige Darstellung gegenwärtiger wissenschaftlicher Erkenntnis zu verringern, ist unredlich. Nur gesicherte wissenschaftliche Tatsachen, auch wenn sie der offiziellen Lehrmeinung widersprechen und höchst unerwünscht sind, dürfen bei der politischen Entscheidungsfindung über die Zukunft der Kerntechnologie berücksichtigt werden.

In der neuesten Veröffentlichung der RERF im Technischen Report Nr. 11 (TR 11-87) wird zum ersten Mal davon gesprochen, daß die Dosiswirkungskurve für die Krebsinduktion beim Menschen bei höheren Dosen flacher verläuft als bei niedrigen Dosen. Die RERF gesteht somit zum ersten Mal ein, daß der Verlauf der Dosiswirkungskurve supralinear ist. Weiter heißt es in diesem Bericht: "Das Risiko bei kleinen Dosen ist also höher als das, welches man durch lineare Extrapolation erhält."

Die offizielle Stelle, die das größte Datenmaterial über strahlenbedingte Krebsinduktion beim Menschen sichtet und verwaltet, bestätigt also den schon seit mehreren Jahren von verschiedenen Wissenschaftlern und Wissenschaftlergruppen aus epidemiologischen Daten abgeleiteten Befund einer überlinearen Dosiswirkungsbeziehung für Krebsinduktion beim Menschen.

Die Daten unterstützen also nicht mehr eine quadratische Dosiswirkungsbeziehung. Damit werden zwei ganz wichtige Vorstellungen über die Wirkung niedriger Dosen und kleiner Dosisraten auch hinfällig.

1.) Das Verschwinden des quadratischen Terms bedeutet, es gibt keine Zwei- oder Mehrtreffer-Mechanismen bei der Strahlenkarzinogenese beim Menschen. Das Argument, daß niedrige Dosisraten oder fraktionierte Bestrahlung im Vergleich zu akuter Bestrahlung eine geringere Wirkung haben sollen, beruht einzig und allein auf der Idee, daß Zweitreffereignisse, die Krebs auslösen, bei niedrigen Dosen und kleinen Dosisraten nicht stattfinden, weil sie räumlich und zeitlich getrennt sind, und die Zelle den ersten Schaden reparieren kann, bevor der zweite erzeugt wird. Da nun keinerlei Hinweise auf einen Mehrtreffermechanismus bei der Strahlenkanzerogenese zu finden sind, kann auch der bisher immer angenommene Schutz durch Dosisfraktionierung nicht weiter aufrechterhalten werden. Dieser Schutzfaktor war aber bisher bei den Risikoabschätzungen vorausgesetzt worden und hatte eine Größe zwischen 1,5 und 10.

Falls die Karzinogenese aber kein Mehrtrefferphänomen ist, dann kann eine räumliche Verdünnung der Schäden auch nicht zu einer harmlosen und sicheren Schwellendosis führen.

2. Das Nichtauftreten einer quadratischen Dosiswirkungskurve bedeutet aber auch, daß die Spekulationen, wonach bei kleinen Dosen das zelluläre Reparatursystem immer besser und effektiver arbeitet und unterhalb einer bestimmten Schwellendosis alle Schäden perfekt repariert, wissenschaftlich nicht mehr haltbar sind. Die Existenz der supralinearen Dosiswirkungskurve zeigt uns, daß unsere Vorstellungen über die molekularen Prozesse der Strahlenkanzerogenese revidiert werden müssen.

Die Nuklearindustrie und die Verantwortlichen in der Isotopentechnologie und der Radiologie haben sich mit enormem Aufwand dafür eingesetzt, die Idee von der ungefährlichen Schwellendosis zu propagieren und glaubhaft zu machen, daß bei Dosisfraktionierung kein Schaden induziert wird. Die immer zahlreicher werdenden Hinweise aus der Forschung und aus den epidemiologischen Studien zeigen aber deutlich, daß es für solche Ideen keine wissenschaftlich haltbaren Daten gibt. Man muß endlich zur Kenntnis nehmen, daß die Informationskampagnen der Nuklearindustrie auf Annahmen beruhen, die seit langem durch epidemiologische Befunde über die Strahlenkanzerogenese beim Menschen widerlegt sind. In jüngster Zeit wird dies sogar von offiziellen Stellen wie der RERF bestätigt. Will man verantwortungsbewußt Strahlenschutzempfehlungen aussprechen, so darf man das wahre Risiko nicht verdrängen. Man muß in seine Überlegungen die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse einbeziehen, ganz besonders dann, wenn die neuen Daten höchst beunruhigend sind und ein vertrautes Weltbild in Frage stellen.

Aus dem gesagten folgt: Will man das Risiko für Schädigungen durch Strahlenexposition in der Nuklearindustrie genauso klein oder sogar geringer halten wie das Risiko in anderen Industriezweigen, so muß man die Grenzwerte für die Strahlenbelastung um einen Faktor reduzieren, der den neuesten Erkenntnissen Rechnung trägt. Die Größe dieses Faktors liegt mindestens bei 10.

Mutagene Wirkung

Seit den Arbeiten von Muller (1927) ist gesichert, daß Strahlung Mutationen auslöst. Jedoch erst 20 Jahre später wurden die genetischen Konsequenzen nach Bestrahlung einer Population stärker beachtet.

Bei der Nutzen-Risiko-Abschätzung von Röntgenstrahlung und Kernenergie unter Einbeziehung der gesellschaftlichen Kosten ist der genetische Schaden in einer Population, die nur niedrigen Strahlendosen ausgesetzt wurde, mit besonderer Sorgfalt zu beachten. Diese Schäden "sterben" nicht mit dem bestrahlten Individuum, sondern belasten die kommenden Generationen. Die Größe des genetischen Effekts reicht von gerade nachweisbaren bis hin zum letalen Schaden. Ein letaler Schaden, der das Individuum tötet, bevor es das reproduktive Alter erreicht, ist populationsgenetisch bedeutungslos. Es sind die kleinen, zunächst kaum oder überhaupt nicht nachweisbaren genetischen Effekte, die auf die Nachkommen übertragen werden, die größter Aufmerksamkeit bedürfen, besonders in einer Gesellschaft, die Dank der guten medizinischen Versorgung den betroffenen Individuen ermöglicht, zu überleben

und die genetischen Effekte weiterzugeben. Viele der genetischen Schäden, die durch Strahlung hervorgerufen werden, sind rezessiv, treten also nur in Erscheinung, wenn beide Eltern die gleichen Mutationen tragen. Es kann daher viele Generationen dauern, bis das Ausmaß der genetischen Schädigung der Gesamtpopulation deutlich wird. Die Schädigung kann durchaus schlimmer sein als man derzeit annimmt.

In einer Untersuchung über die mutagene Wirkung von Röntgenstrahlung kommen Waldren et al. (1986) zu dem Ergebnis, daß im Bereich kleiner Strahlendosen die mutagene Wirkung rund 200 mal größer ist, als bei linearer Extrapolation zu erwarten wäre. Der Vorteil der von Waldren et al. entwickelten Methode ist, daß experimentelle Werte selbst bei nur 0,2 Sv erhalten werden. Man kann in dieser Untersuchung eine Bestätigung der überproportionalen Dosiswirkungsbeziehung sehen. Diese neuesten Erkenntnisse haben bisher noch keinen Eingang in die Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) gefunden. Hier wird nach wie vor mit Hilfe einer linear-quadratischen Dosiswirkungsbeziehung das zusätzliche Risiko für Krebs oder genetische Effekte bestimmt.

Es ist durchaus möglich, daß viele, vielleicht sogar alle Krankheiten einschließlich Krebs, eine genetische Komponente haben. Nach Muller kommen auf eine beobachtbare Mutation etwa 10000 kleine, nicht sichtbare Mutationen, die langfristig gesehen die Vitalität, die Resistenz gegen Krankheiten und die geistige Verfassung einer Population nachteilig beeinflussen können.

Strahlenbedingte genetische Veränderungen unterscheiden sich nicht von den durch andere Schadstoffe hervorgerufenen. Bei etwa 10% der heutigen Lebendgeburten läßt sich ein genetischer Defekt klinisch feststellen. Ein bestimmter Anteil könnte auf Umweltschadstoffe und die natürliche Untergrundstrahlung zurückzuführen sein. Durch anthropogene Strahlung (Strahlenanwendung in der Medizin, Strahlenbelastung durch den weiteren Ausbau der Kernenergie) wird dieser Anteil um einen dosisabhängigen Betrag erhöht. Eine genaue Beziehung zwischen Dosis und genetischem Effekt beim Menschen ist aber nicht bekannt. Grobe Abschätzungen besagen, daß pro Doseinheit die Größe des genetischen Risikos in den ersten beiden Generationen etwa um die Hälfte geringer ist (Faktor 0,3 - 0,5), als das Krebsrisiko des bestrahlten Individuums. Dabei bleiben die Auswirkungen auf die folgenden Generationen unberücksichtigt. Von den Kernenergiebefürwortern wird die Tatsache, daß bei den Atombombenüberlebenden in Japan keine Zunahme genetischer Effekte beobachtet wurden, oft so interpretiert, daß beim Menschen keine Mutationen hervorgerufen werden. Dieser Auslegung ist wieder-

holt von kompetenter Seite widersprochen worden. Einmal handelt es sich um eine atypische Population, zum anderen sind die bei der Untersuchung eingesetzten Methoden nicht adäquat gewesen. Jedenfalls wurden bei etwa 10 Versuchstierarten nach Bestrahlung genetische Effekte gefunden (ICRP 1977). Daß der Mensch hier eine Ausnahme machen sollte, wäre absolut unerklärlich.

Von mehreren Forschergruppen wurden erhöhte Anzahlen von Chromosomenaberrationen in Personengruppen, die niedrigen Strahlendosen ausgesetzt waren, zweifelsfrei nachgewiesen (siehe etwa die Zusammenfassung von Marx 1979 oder das Buch von Sutcliffe 1987). Neuere Arbeiten bestätigen dies. So wurden von Grosovsky und Little (1985) Mutationen bei menschlichen Lymphoblasten selbst bei Dosen um 0,01 Sv beobachtet. Cromforth und Bedford (1983) finden in menschlichen Fibroblasten Chromosomenbrüche schon bei 0,1 Sv. Auf dem Nachweis von Chromosomenaberrationen beruht die besonders von Scheid et al. (1988) weiterentwickelte biologische Dosimetrie.

Teratogene Wirkung

In der gegenwärtigen Diskussion über die Strahlenrisiken nimmt die Frage nach der Auswirkung kleiner Strahlendosen auf die embryonale und fötale Entwicklung eine wichtige Stellung ein. Die pränatale Lebensphase gilt als besonders strahlenempfindlich. Mit einem Minimum an Dosis kann ein Maximum an Wirkung erzeugt werden. Dennoch ist die Abschätzung des gesundheitlichen Risikos für das heranwachsende Leben nach kleinen Strahlenbelastungen sehr schwierig. Die Entstehung der Schädigung wird von vielen Parametern wie Dosis, Entwicklungsstadium, Strahlenart und -applikation sowie von Milieufaktoren (Schadstoffe, Ernährung, Stress) beeinflusst.

Die Dosiswirkungsbeziehungen werden unterschiedlich verlaufen, je nachdem, ob Mißbildung, Wachstumshemmung, geistige Retardation, Krebsinduktion oder vererbte Defekte untersucht werden. Je nach dem Stadium der Schwangerschaft fallen die Dosiswirkungsbeziehungen und die Schädigungsmuster verschieden aus. Dies gilt für externe Bestrahlung aber auch für Exposition durch inkorporierte radioaktive Stoffe.

Viele einschlägige Untersuchungen wurden bei Dosen um 1 Gy gemacht (Fritz-Niggli 1972, UNSCEAR 1977, BEIR 1980). In neuerer Zeit sind unter anderem von Michel et al. (1982, 1984) Experimente im Dosisbereich um 0,05 Gy durchgeführt worden. Selbst in diesem Dosisbereich werden erhöhte Effekte gefunden.

Besonders lückenhaft ist das Wissen über die Wirkung kleiner Mengen inkorporierter Radionuklide. Ein Literaturüberblick findet sich bei Stieve (1984). In der fötalen Entwicklungsphase nimmt die Mißbildungsrate ab. Beeinträchtigungen des Zentralnervensystems stellen hier schwerwiegende Schäden dar und können durch kleine Strahlenmengen induziert werden. Dies bestätigen auch die neuesten Daten der Untersuchungen an Überlebenden der Atombombenexplosionen in Japan von Otake und Schull (1984, 1986). Diese Autoren finden für geistige Schäden nach Bestrahlung in utero eine lineare Dosiswirkungsbeziehung.

Die Korrelation zwischen Krebs (Leukämie) und intrauteriner Bestrahlung ist noch weitgehend ungeklärt. Es gibt auch noch keine Erklärung, warum die einzelnen Erhebungen zu unterschiedlichen Ergebnissen geführt haben.

Nach Untersuchungen von Kneal und Stewart (1979) erhöht eine Bestrahlung in utero von 0,01- 0,02 Gy die Wahrscheinlichkeit der Induktion von Leukämie um einen Faktor von 1,5- 2,0 gegenüber dem natürlichen Auftreten. Dies wird durch Abschätzungen von Brent (1984) bestätigt.

Für die Abschätzung des genetischen Risikos nach pränataler Bestrahlung sind für den niedrigen Dosisbereich nur wenige verlässliche Daten vorhanden. Die Vielzahl der überraschenden und unerklärlichen Resultate, die sich aus den Studien über die biologische Wirkung der Strahlung ergeben, ist bemerkenswert. Das scheinbare Fehlen genetischer Effekte bei den Atombombenüberlebenden, das Fehlen von Leukämien bei den Plutonium-Arbeitern, die niedrige Leukämierate bei den Überlebenden, die in den Städten waren, als die Bomben fielen, verglichen mit denen, die erst danach in die Städte kamen, die scheinbar seltenen Fälle von Langzeit-Effekten bei Patienten nach Behandlung mit Radioisotopen, das erhöhte Auftreten von Leukämien bei Kindern in der Umgebung kerntechnischer Anlagen sind nur einige Beispiele. Wenn so viel ungeklärt ist, dann kann man davon ausgehen, daß fundamentale Prozesse noch nicht verstanden sind. Ganz neue Überlegungen von Nußbaum (1988) und Stewart (1988) werden möglicherweise zur Aufklärung vorhandener Widersprüche beitragen und dazu führen, daß sich in der heftigen Auseinandersetzung über die Wirkung niedriger Strahlendosen erstmals eine größenordnungsmäßige Übereinstimmung mit weitaus höheren Risikofaktoren ergibt.

Das Nukleare Dilemma

Die kanzerogenen, genetischen und teratogenen Effekte in nur mit kleinen Dosen bestrahlten Populationen sind, obwohl von größter Bedeutung, immer noch mit großen Unsicherheitsfaktoren behaftet. Wegen der generell erheblichen Schwierigkeiten bei der genauen Bestimmung der Strahlenwirkungen im niedrigen Dosisbereich, wird sich in absehbarer Zeit an dieser Situation wenig ändern. Es ist daher nur zu verständlich, daß Wissenschaftler so etwas wie einen Berufsoptimismus an den Tag legen und glauben, ihre Forschungsergebnisse stärker belasten zu können als tatsächlich angebracht ist.

Das Dilemma wird besonders deutlich, wenn man berücksichtigt, daß nationale und internationale Kommissionen, die das Strahlenrisiko abschätzen und Strahlenschutzempfehlungen aussprechen, von eben diesen Wissenschaftlern besetzt sind.

So folgt fast zwangsläufig, daß die Empfehlungen der Kommissionen nicht mit den Vorbehalten formuliert werden, die aufgrund der verfügbaren Daten geboten wären. Oft weigern sich die Kommissionen neue wissenschaftliche Erkenntnisse in ihren Empfehlungen zu berücksichtigen. Dies hat dann weitreichende Konsequenzen für die nationale Strahlenschutz-Gesetzgebung. Die hierfür Verantwortlichen beachten unglücklicherweise nicht die geringe Belastbarkeit der wissenschaftlichen Aussagen.

Verlässliche Kenntnisse über die Wirkung niedriger Strahlendosen sind aber notwendig für verantwortungsvolle Entscheidungen über die sozialen Konsequenzen einer zunehmenden Strahlenbelastung der Bevölkerung, die durch größeren Einsatz von Strahlung in der Medizin und durch den weiteren Ausbau der Kerntechnologie hervorgebracht wird.

Die Strahlenbelastung der Bevölkerung ist so gesehen ein besonders komplexes Thema. Im Bereich der Medizin überwiegt der Nutzen, aber strikte Maßnahmen sollten überflüssigen Einsatz von Strahlung dort reduzieren. Ob bei verstärktem Einsatz von Kerntechnologie zur Energiebedarfsdeckung eine Nutzen - Risiko Bilanz ebenfalls positiv ausfällt, ist zweifelhaft. Denn Reaktorunfälle, die Entsorgung radioaktiver Abfälle, die Wiederaufarbeitung verbrauchter Brennelemente und der Transport radioaktiver Stoffe stellen durchaus keinen geschlossenen Kreislauf dar, sondern werden das Niveau der anthropogenen Strahlung beachtlich erhöhen. Es kann kaum überraschen, daß der Streit über die Größe des Effekts im Bereich kleiner Dosen ganz besonders zwischen Befürwortern und Gegnern der Kernenergie entbrannt ist. Aus den genannten Gründen sind dabei die Argumente oft emotional und wenig wissenschaftlich.

Viele glauben, daß das Risiko für die eigene Gesundheit durch den erhöhten Einsatz von Strahlung angesichts des Nutzens gerechtfertigt ist. Sie sind jedoch sehr im Zweifel, ob dies auch für die kommenden Generationen gilt.

Ein weiterer Punkt verdient Beachtung. Während der Nutzen des Einsatzes der "billigen" Kernenergie recht gleichmäßig über eine Bevölkerung verteilt wird, gilt dies für das Risiko nicht. Die in der Nähe kerntechnischer Anlagen lebende Bevölkerung ist einem größeren Risiko ausgesetzt (siehe Tschernobyl). Man könnte also hinterfragen, ob eine ungleichmäßige Verteilung eines unbekanntes Risikos gerechtfertigt ist.

Das Problem der Bewertung der genetischen Effekte ist jedoch die Hauptschwierigkeit. Über lange Zeiträume sind die Populationen in ein genetisches Gleichgewicht mit den mutagenen Stoffen ihrer Umwelt gekommen. Dieses Gleichgewicht wird durch zusätzliche Strahlenbelastung gestört. Sind wir wirklich berechtigt, in einem nicht voraussagbaren Ausmaß zukünftige Generationen aufs Spiel zu setzen? Können wir es uns leisten, diese Ungewißheit einfach zu ignorieren?

mal annimmt, lägen wir hochgerechnet derzeit bei jährlich 10 000 Personenrem als berufliche Belastung und folglich bei 10 zusätzlichen Krebstoten, oder bei 300 Krebstoten bei gleicher Belastung für eine Arbeitnehmergegeneration von 30 Jahren.

In dem Gutachten von *Kuni und Blum*²⁷⁾, sind Fälle beschrieben, anhand derer klar wird, daß ein Arbeitnehmer im Falle eines beruflich bedingten Strahlenschadens bislang keinerlei Aussicht auf Entschädigung hat, sofern nicht eine ausdrückliche Unfallsituation mit Überexposition nachgewiesen wird. Eine Ausnahme bildet in der BRD der Fall eines Uranprospektors, der 11 (!) Jahre gegen die Berufsgenossenschaft Bergbau klagte. Bei ihm gelang es nur mit Hilfe der biologischen Dosimetrie, die eine nachweisliche Belastung durch dicht ionisierende Strahlung erbrachte, das Sozialgericht vom Entschädigungsanspruch zu überzeugen.

6. Schlußfolgerungen

Die Gefährdung durch ionisierende Strahlung im niederen Dosisbereich wurde ursprünglich weit unterschätzt. Neuere Erkenntnisse sind schwer gegenüber den Anwenderinteressen durchzusetzen. Die Kritiker der geltenden Strahlenschutznormen haben jedoch auch durch das Bekanntwerden besonderer Ereignisse (z. B. Tschernobyl, neuerdings den vertuschten Störfall in Sellafield, früher Windscale wie auch die skandalösen Vorgänge um die Firma Transnuklear) an Einfluß ge-

wonnen, so daß auch größere gesellschaftliche Gruppierungen sich der Thematik in angemessener Weise anzunehmen beginnen²⁸⁾. Folgende Maßnahmen sind dringend erforderlich:

- (1) Aufklärung der Betroffenen über die Gesundheitsgefährdung, wie sie sich heute wissenschaftlich darstellt, und über die diesbezüglichen fremdbestimmten Kontroversen.
- (2) Senkung der Dosisgrenzwerte für beruflich strahlenexponierte Personen.
- (3) Neben der Begrenzung der individuellen Dosis auch Beschränkung der durch „zivilisatorische“ Maßnahmen erreichten Kollektivdosis. D. h. es muß auch die Anzahl der Betroffenen systematisch begrenzt werden.
- (4) Regelung mit den Berufsgenossenschaften über die Anerkennung von Entschädigungsansprüchen bei Gesundheitsschäden nach beruflicher Strahlenexposition auch innerhalb der zulässigen Dosisgrenzwerte.
- (5) Durchsetzung korrekter Dosisbestimmungen am Arbeitsplatz.
- (6) Einbeziehung der Gefährdung für strahlenexponierte Beschäftigte in die Akzeptanzdebatte um die Atomenergienutzung.

²⁷⁾ Ebenda, S. 2-15.

²⁸⁾ Vgl. hierzu den Beitrag von *Fink, U.*, Kritik und Alternativen der Strahlenschutzpolitik, in diesem Heft.

Kritik und Alternativen der Strahlenschutzpolitik

Von Ulrike Fink*)

1. Einleitung

Berichte über akute Strahlenwirkungen datieren bereits aus der Frühzeit des Umgangs mit Röntgenstrahlen oder radioaktiven Stoffen in Forschung und Medizin. Die ersten beobachteten Effekte – Hautschäden wie

Rötungen (Erytheme), Verbrennungen und entzündliche Veränderungen – führten zur Festlegung einer ersten Dosismaßeinheit, der Haut-Erythem-Dosis. In den folgenden Jahren und Jahrzehnten traten dann auch die langfristigen Strahlenfolgen zutage. So verzeichnet das 1959 erschienene „Ehrenbuch der Röntgenologen und Radiologen aller Nationen“ die Namen von 359 Strahlenopfern. Die meisten von ihnen starben an Krebs¹⁾. Daß ionisierende Strahlung (d. h. Strahlung, deren Energie ausreicht, aus neutralen Atomen und Molekülen Elektronen abzuspalten) auch mutagene Wirkung hat, also Veränderungen des Erbgutes auslösen kann, wurde in den 20er Jahren durch die Untersuchungen des

Gliederung

1. Einleitung
2. Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP)
 - 2.1 Struktur, Bedeutung und Arbeitsschwerpunkte der ICRP
 - 2.2 Das Dosiskonzept der Veröffentlichung Nr. 26 der ICRP
 - 2.3 Rechtfertigung und Bewertung von Grenzwerten
3. Strahlenschutz in der Bundesrepublik
 - 3.1 Rechtliche und institutionelle Grundlagen
 - 3.2 Die Strahlenschutzverordnung
4. Kritik, Alternativen und Ansätze zur Veränderung
 - 4.1 Entscheidungen über zumutbare Risiken
 - 4.2 Ausweitung der Schutzkonzepte

*) Biologin, Gruppe Ökologie, Hannover.

¹⁾ *Holthausen, H. u. a.*, Ehrenbuch der Röntgenologen und Radiologen aller Nationen, München/Berlin 1959.

Genetikern *Muller* an den Nachkommen bestrahlter Taufiegen (*Drosophila*) experimentell nachgewiesen.

Die Erfahrungen über Strahlenschäden bei hohen Dosen führten 1925 zur Aufstellung einer maximal zulässigen Jahresdosis: 1/10 der Haut-Erythem-Dosis (ca. 50–100 Röntgen²). 1928, auf dem 2. Internationalen Radiologenkongreß in Stockholm, wurde ein Komitee gegründet, aus dem die „International X-ray and Radium Protection Commission“ hervorging, die Vorläuferin der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP). Dieses Gremium empfahl 1934, einen Grenzwert von 0,2 Röntgen/Tag (1 Röntgen/Woche) festzulegen. In den 50er Jahren wurden dann maximal zulässige Strahlendosen für Beschäftigte (5 rem/Jahr Ganzkörperdosis sowie Grenzwerte für Einzelorgane wie Lunge, Knochen usw.) empfohlen, die bis 1977 unverändert blieben.

Mit Empfehlungen und Richtlinien zu Fragen des Strahlenschutzes befassen sich eine Reihe von internationalen Gremien. Neben nicht-staatlichen Organisationen wie der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) und der Internationalen Kommission für radiologische Messungen und Einheiten (ICRU), deren Empfehlungen keine rechtliche Bindungswirkung für einzelne Staaten besitzen, sind u. a. folgende Organisationen von Bedeutung:

- das Wissenschaftliche Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkung atomarer Strahlung (UNSCEAR),
- die Internationale Atomenergie-Behörde (IAEA),
- die Kernenergieagentur (NEA) der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD),
- die Europäische Atomgemeinschaft (Euratom).

Während die Empfehlungen von UNSCEAR und IAEA eindeutig empfehlenden Charakter besitzen, sind die Beschlüsse der Kernenergieagentur mit einigen Ausnahmen verbindlich. Die von der Europäischen Atomgemeinschaft 1959 erlassenen und 1980 überarbeiteten „Grundnormen für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung und der Arbeitskräfte gegen die Gefahren ionisierender Strahlung“³) sind dagegen für alle EG-Mitgliedstaaten rechtsverbindlich, d. h. sie müssen in das jeweilige nationale Strahlenschutzrecht umgesetzt werden.

Da die Euratom-Grundnormen im wesentlichen auf den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission beruhen und die deutsche Strahlenschutzverordnung an die Normen von 1980 angepaßt werden soll, ist eine kritische Auseinandersetzung mit diesem Gremium und seinen Empfehlungen unumgänglich.

2. Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP)

2.1 Struktur, Bedeutung und Arbeitsschwerpunkte der ICRP

1950 erhielt die ICRP ihre auch heute noch bestehende organisatorische Form. Laut Satzung besteht die Kommission aus einem Vorsitzenden und höchstens 12 weiteren Mitgliedern⁴), deren Wahl einer Selbstrekrutierung gleichkommt: Sie „erfolgt durch die ICRP aus Nominierungen, die ihr von den nationalen Delegationen des Internationalen Kongresses für Radiologie und aus den eigenen Reihen vorgelegt werden“⁵). Entscheidungen werden mit einfacher Stimmenmehrheit gefällt. Neben der Hauptkommission arbeiten Komitees zu speziellen Fragen. Etwa einmal jährlich trifft sich die Kommission, und jedes 2. Jahr tagt sie gemeinsam mit den Komiteemitgliedern. Die Finanzierung erfolgt einerseits durch Geldzuwendungen von internationalen Gremien wie den Vereinten Nationen oder der Kernenergiebehörde, andererseits durch die Organisationen, denen die Mitglieder der ICRP angehören⁶).

Die Bedeutung dieses internationalen Wissenschaftlergremiums ohne staatliche oder demokratische Legitimation liegt darin, daß es zu wichtigen Fragen des Strahlenschutzes „Empfehlungen“ erarbeitet hat, die in den meisten Ländern der Erde die Grundlage der jeweiligen Strahlenschutzvorschriften bilden. Die Empfehlungen der ICRP umfassen einen weiten Bereich, angefangen von allgemeinen Strahlenschutzgrundsätzen über Methoden der Rechtfertigung von Bestrahlung bis hin zur Festlegung von Werten für die höchstzulässige jährliche Dosis. Zu wesentlichen Themen hat sich die Kommission allerdings gar nicht oder erst sehr spät geäußert⁷).

Während vor 1950 hauptsächlich der Strahlenschutz im Bereich der diagnostischen und therapeutischen Medizin im Mittelpunkt stand, mußten mit dem Ausbau

²) *Weish, P., Gruber, E.*, Radioaktivität und Umwelt, Stuttgart 1979. – Zur Erklärung der Begriffe „rem“ und „Röntgen“ vgl. den Beitrag von *Schmitz-Feuerhake, I.*, Ausmaß und Verteilung von Strahlenrisiken für Arbeitnehmer und Bevölkerung, in diesem Heft.

³) *Euratom*, Richtlinie des Rates vom 15. 7. 1980 zur Änderung der Richtlinien, mit denen die Grundnormen für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung und der Arbeitskräfte gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen festgelegt wurden, in: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L 246, 17. 9. 1980. – Änderung in: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L 246, 5. 10. 1984.

⁴) Unter den Mitgliedern waren meines Wissens bisher keine Frauen.

⁵) *ICRP*, Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission, Heft 26, Stuttgart 1978, S. 66.

⁶) Das sind in der Bundesrepublik z. B. die Kernforschungsanlage Jülich und die Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung, Neuherberg.

⁷) Dies betrifft z. B. die Strahlenbelastungen von Patienten, von Arbeitern in Uranminen oder der Bevölkerung durch den Atombombenfallout, vgl. *Morgan, K. Z.*, ICRP Risk Estimates – An Alternative View, Conference on the Biological Effects of Ionizing Radiation, Hammersmith Hospital, London 1986.

der Atomenergienutzung zunehmend auch die dort Beschäftigten sowie die Gesamtbevölkerung in die Überlegungen einbezogen werden. Das Hauptaugenmerk der Kommission lag und liegt jedoch auf den Beschäftigten.

Für einen begrenzten Teil der Bevölkerung, z. B. in der Umgebung von Atomanlagen, wurde vor 1977 ein Zehntel der für Beschäftigte zulässigen Dosis vorgeschlagen, also z. B. 0,5 rem/Jahr Ganzkörperdosis. Für die Gesamtbevölkerung sollten wegen des genetischen Risikos (Gefahr von Erbgutveränderungen) 5 rem pro Generation, also in 30 Jahren, zulässig sein. Zur Begründung führte die Kommission 1965 aus, daß dieser Wert „einen vernünftigen Spielraum für die Atomenergieprogramme der absehbaren Zukunft schafft“⁸⁾.

Die wohl weitreichendsten Empfehlungen der ICRP in den letzten Jahren waren die Veröffentlichung Nr. 26 von 1977⁹⁾ mit der Einführung eines veränderten Dosiskonzepts und der Neuformulierung von Strahlenschutzgrundsätzen (siehe 2.2 und 2.3) sowie die Veröffentlichung Nr. 30¹⁰⁾ aus den Jahren 1978 bis 1981 mit der Einführung neuer Stoffwechselmodelle und spezieller Annahmen zur Berechnung der Strahlenbelastung nach Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den menschlichen Körper. Diese beiden Veröffentlichungen bilden die Grundlage der Euratom-Richtlinie von 1980.

2.2 Das Dosiskonzept der Veröffentlichung Nr. 26 der ICRP

Etwa 20 Jahre lang bildete, auch im deutschen Strahlenschutzrecht, das *Konzept des kritischen Organs* die Grundlage für die Festsetzung von Dosisgrenzwerten für Organe und daraus abgeleiteten zulässigen Konzentrationen von Radionukliden (radioaktive Atomkerne) in Luft, Wasser und Nahrung. Leukämie (Blutkrebs) als Spätschaden stand dabei im Vordergrund. Für die einzelnen Gewebe und den Ganzkörper galten unterschiedlich hohe Strahlenbelastungen als maximal zulässig. Die Nichtberücksichtigung gleichzeitig – aber geringer – bestrahlter Organe ließ dieses Verfahren als nicht mehr angemessen erscheinen.

Mit der Veröffentlichung Nr. 26 hat die ICRP 1977 ein *neues Dosiskonzept* vorgeschlagen, das zwischen zwei Strahlenwirkungen unterscheidet:

- bei *stochastischen* (zufallsbedingten) Strahleneffekten hängt die *Schadenshäufigkeit* ab von der Dosis. Es existiert kein Schwellenwert, unterhalb dessen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens gleich Null ist. Zu diesen Strahlenschäden gehören Krebs, Leukämie und Erbgutveränderungen.
- *Nichtstochastische* (nicht-zufällige) Strahlenschäden treten erst oberhalb eines bestimmten Schwellenwertes auf. Der *Schweregrad der Krankheit* hängt ab von der Dosis. Hierzu gehören z. B. Trübung der Augen-

Tabelle 1
Risikofaktoren der Internationalen Strahlenschutzkommission für das Auftreten von Krebstodesfällen und schweren Erbschäden nach radioaktiver Bestrahlung

Organ	Risikofaktor pro 1 Mill. Personen-rem ¹⁾	Wichtungsfaktor ²⁾
Keimdrüsen	40	0,25
Brust	25	0,15
Rotes Knochenmark (Leukämie)	20	0,12
Lunge	20	0,12
Schilddrüse	5	0,03
Knochen/Knochenoberfläche	5	0,03
sonstige Organe (z. B. Lunge, Leber)	50	0,30 (je 0,06 für die 5 am höchsten bestrahlten Organe)
Gesamt	165	1
davon Krebstodesfälle	125	

1) Nach Bestrahlung von 1 Mill. Menschen mit je 1 rem (= 1 Mill. Personen-rem) treten in der Folgezeit 125 strahlenbedingte Krebstodesfälle auf. Darunter sind 20 Fälle von Leukämie, 5 Schilddrüsentumore usw. Weiterhin ist mit 40 schwerwiegenden Erbkrankheiten in den nächsten zwei Generationen zu rechnen. Die ICRP nennt im Vergleich zu anderen Schätzungen die niedrigsten Risikofaktoren. – 2) Die Wichtungsfaktoren werden aus diesen Schätzungen abgeleitet und dienen zur Berechnung der „effektiven Dosis“. Ein Wichtungsfaktor für tödlich ausgehenden Hautkrebs wurde später mit 0,01 angegeben.

Quelle: Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission, ICRP Heft 26, Stuttgart 1978.

linse (Katarakt) und gutartige Veränderungen der Haut.

Folglich werden zwei Dosisgrenzwerte empfohlen: 50 rem/Jahr für alle Organe zur Verhinderung von nichtstochastischen Schäden (Ausnahme: Augenlinse 15 rem/Jahr¹¹⁾) und 5 rem/Jahr effektive Äquivalentdosis zur Begrenzung des „Gesamtschadens“ durch alle stochastischen Strahlenwirkungen im Körper (die Angaben gelten für Beschäftigte).

Diese effektive Äquivalentdosis (kurz: effektive Dosis) bestimmt sich dadurch, daß die in einem bestrahlten Körperorgan auftretenden Dosen mit einem *Wichtungsfaktor* multipliziert werden. Die effektive Dosis ergibt sich dann als Summe aller gewichteten Organdosen. Die neue Dosisgröße versucht also, auch bei nicht gleichmäßiger Bestrahlung des Körpers die unterschiedlichen Risiken der einzelnen Organe anteilig am Gesamtrisiko zu erfassen und zu begrenzen¹²⁾.

⁸⁾ ICRP, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 9, Oxford 1965.

⁹⁾ ICRP, Empfehlungen . . . , a. a. O.

¹⁰⁾ Bundesgesundheitsamt u. a. (Hrsg.), Grenzwerte der Aktivitätszufuhr von Radionukliden für Beschäftigte, ICRP Veröffentlichung 30. Teil 1-3, Stuttgart 1985.

¹¹⁾ In ICRP 26 wurden 30 rem/Jahr für die strahlenempfindliche Augenlinse empfohlen. Eine Herabsetzung erfolgte auf der ICRP-Sitzung 1980.

¹²⁾ Es handelt sich hierbei gewissermaßen um den – durchaus wünschenswerten und notwendigen – Versuch, Äpfel und Birnen zusammenzuzählen.

Die Kritik entzündet sich wesentlich an der Festlegung der Wichtungsfaktoren, die von der ICRP aufgrund der *Wahrscheinlichkeit des Auftretens bösartiger Krebserkrankungen mit tödlichem Ausgang bzw. des Risikos schwerwiegender genetischer Schäden* nach Bestrahlung abgeschätzt werden¹³). Diese Wahrscheinlichkeit wird in Form von Risikofaktoren angegeben, die über beide Geschlechter und alle Altersgruppen mitteln (siehe Tabelle 1). „Heilbare“ Krebserkrankungen bleiben dabei unberücksichtigt.

Deshalb liegt beispielsweise der Risikofaktor bzw. der daraus abgeleitete Wichtungsfaktor für die *Schilddrüse* (0,03) besonders niedrig: die Schilddrüse gehört zwar zu den strahlenempfindlichsten Organen des Körpers, die Sterblichkeit durch Schilddrüsenkrebs liegt jedoch aufgrund der Erfolge bei der Behandlung sehr niedrig. Der Risikofaktor für die *Brust* illustriert die Problematik der Mittelung. Er gilt nämlich für beide Geschlechter und unterschätzt damit die Gefährdung für Frauen. Außerdem ist es Hinweise darauf, daß die Brust von Frauen im gebärfähigen Alter wesentlich strahlensensibler ist als z. B. das rote Knochenmark.

Aus diesen und weiteren Gründen kann das neue Dosiskonzept nur als unzureichend bezeichnet werden:

- Ein Konzept, das nur den Tod als „Risiko“ gelten läßt, ist nicht akzeptabel. Auch die Inzidenz müßte berücksichtigt und bewertet werden. Allerdings erscheint es als sehr problematisch, alle mit Krankheiten verbundenen körperlichen und seelischen Leiden allgemein-verbindlich oder gar quantitativ festzulegen.
- Es ist umstritten, ob das ursprünglich für den beruflichen Strahlenschutz entwickelte Konzept überhaupt übertragbar ist auf die Gesamtbevölkerung (vergleiche dazu 3.2) oder bei Patienten für die Abwägung des Risikos bei medizinischer Anwendung von Röntgenstrahlen oder radioaktiven Stoffen angewendet werden kann¹⁴).
- Die den Wichtungsfaktoren zugrundeliegenden Risikofaktoren weisen ein hohes Maß an Unsicherheit auf und müßten deshalb mit einer Bandbreite angegeben werden. Außerdem sind sie abhängig vom Stand des medizinischen Fortschritts.

Das Konzept führt faktisch zu einer Grenzwerthöhung für jedes Organ (siehe Tabelle 2) und damit zu einer Verschlechterung der Arbeitsschutznormen für alle die Fälle, in denen sich Radionuklide in einzelnen Organen anreichern.

Für die *Bevölkerung* schlägt ICRP 26 keine Grenzwerte vor. Die Kommission hofft vielmehr, daß ihre Grundsätze „voraussichtlich sicherstellen“ werden, daß die durchschnittliche Äquivalentdosis 50 millirem pro Jahr nicht überschreitet¹⁵).

2.3 Rechtfertigung und Bewertung von Grenzwerten

Ziel des Strahlenschutzes sollte es nach IRCP 26 sein, „schädliche nichtstochastische Wirkungen zu verhindern und die Wahrscheinlichkeit stochastischer Wirkungen auf Werte zu begrenzen, die als annehmbar betrachtet werden.“¹⁶) „Annehmbare Werte“ für Tumore und genetische Schäden sollen durch Kosten-Nutzen-Analysen bestimmt werden, wobei der Gesamtnutzen für die Gesellschaft im Vordergrund steht¹⁷). Diese Kosten-Nutzen-Analysen sind meistens ziemlich verengt auf betriebswirtschaftliche Rentabilitätskriterien, und die Bestimmung des Gesamtnutzens ist keineswegs ausreichend und breiter demokratischer Willensbildung unterworfen.

Tabelle 2
Vergleich der von der Internationalen Strahlenschutzkommission vor und nach 1977 empfohlenen Dosisgrenzwerte für Beschäftigte (rem/Jahr)

Organ	ICRP 9	ICRP 26
Keimdrüsen	5	20
Brust	15	33
Rotes Knochenmark	5	42
Lunge	15	42
Schilddrüse, Haut	30	50
Knochen/Knochenoberfläche	30	50
sonstige Organe	15	50

Die Grenzwerte nach ICRP 26 ergeben sich unter der Annahme, daß 5 rem effektive Dosis pro Jahr für das jeweilige Gewebe ausgeschöpft werden. Für die Organe der letzten drei Zeilen wird dann wegen des niedrigen Wichtungsfaktors der nichtstochastische Grenzwert bestimmend. Grundsätzlich gilt die Bedingung, daß die effektive Dosis 5 rem/Jahr nicht überschreiten darf.

Quellen: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 9, Oxford 1965. – Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission, ICRP Heft 26, Stuttgart 1978.

Da der Grenzwert von 5 rem/Jahr effektive Dosis für Beschäftigte in die Strahlenschutzverordnung übernommen werden soll bzw. bereits in die novellierte Röntgenverordnung aufgenommen worden ist¹⁸), sind die Begründungen der ICRP zu dieser Setzung auch für uns von großem Interesse. Die Kommission rechtfertigt den Wert damit, daß die mittlere Dosis der Beschäftigten nur etwa ein Zehntel des Grenzwertes beträgt und somit das mittlere Risiko in Strahlenberufen vergleichbar ist dem Risiko in anderen sicheren Beschäftigungsbereichen¹⁹).

¹³) Das genetische Risiko wird allerdings nur für die ersten beiden Folgegenerationen, also für Kinder und Enkel, betrachtet. Die Abschätzung ist unzureichend.

¹⁴) Kaul, A. u. a., Effektive Pro-Kopf-Dosis als Maß für die medizinisch bedingte Strahlenexposition der Bevölkerung – Ergänzung oder Alternative zur genetisch signifikanten Dosis?, ISH-Heft 52, Neuherrberg 1984.

¹⁵) ICRP, Empfehlungen . . . , a. a. O., S. 39.

¹⁶) Ebenda, S. 3.

¹⁷) Ebenda, S. 21.

¹⁸) Die novellierte Fassung der Röntgenverordnung trat am 1. 1. 1988 in Kraft.

¹⁹) IRCP, Empfehlungen . . . , a. a. O., S. 31.

Dieser Ansatz wird in der ICRP-Veröffentlichung 27²⁰⁾ quantifiziert mit Hilfe eines Index, bei dem (vor allem) der zu erwartende *Verlust an Lebensjahren* infolge tödlicher Arbeitsunfälle in „konventionellen“ Industriezweigen einerseits mit dem Verlust an Lebensjahren durch Krebstodesfälle in Strahlenberufen andererseits verglichen wird. Den Berechnungen zufolge ist eine Strahlenbelastung von 5 rem/Jahr vergleichbar mit einer Quote von 340 tödlichen Arbeitsunfällen pro 1 Mill. Beschäftigte und Jahr in anderen Industriezweigen. Diese hohe Unfallzahl wurde in der Bundesrepublik nur im Bergbau erreicht, und auch hier ist seit Jahren eine sinkende Tendenz zu verzeichnen. Diese wohl von niemandem akzeptierbare Gefährdung rechnet die ICRP nun „herunter“. Einer Dosis von etwa einem Zehntel des Grenzwertes entsprechen 60 tödliche Arbeitsunfälle pro 1 Mill. Beschäftigte und Jahr²¹⁾. Dies hält die ICRP für annehmbar und gesellschaftlich tolerierbar.

Neben der grundsätzlichen Frage, ob es zulässig sein darf, eine bestimmte Anzahl von Todesfällen bewußt einzuplanen, und weiterhin, ob der Verlust an Lebensjahren durch tödliche Arbeitsunfälle überhaupt einen sinnvollen und ausreichenden Vergleichsmaßstab abgibt, liegt ein Problem dieses Ansatzes²²⁾ darin, daß von einer mittleren Dosis ausgegangen wird. Diese berechnet sich als Summe aller Jahrespersonendosen (Kollektivdosis) geteilt durch die Anzahl der Beschäftigten. Da ein großer Teil der überwachten Personen jedoch kaum oder gar nicht exponiert ist – 1983 waren das in der Bundesrepublik drei Viertel²³⁾ – tragen die übrigen mit einem erheblichen Anteil zu der gesamten Kollektivdosis bei. So erhalten z. B. Beschäftigte in einigen deutschen Atomkraftwerken oder in der britischen Wiederaufarbeitungsanlage Sellafield (früher: Windscale) regelmäßige höhere Dosen²⁴⁾.

Bleibt man innerhalb der Begründungslogik der ICRP und akzeptiert ihre Ausführungen, so ist eine *Beibehaltung des Jahresgrenzwertes von 5 rem nicht zu rechtfertigen*, weil er eine erhebliche Unterschätzung der Gefährdung bedeutet. Unter der Voraussetzung, daß Grenzwerte einzelne Personen vor überdurchschnittlichen Risiken schützen sollen, ist eine Herabsetzung auf etwa ein Zehntel erforderlich. Unter Berücksichtigung des heutigen Wissensstandes und weiterer Annahmen kommen *Blum und Kuni* ausgehend vom Ansatz der ICRP zu geschlechts- und altersabhängigen Empfehlungen, die noch wesentlich niedriger liegen: 20jähriger Mann: ca. 0,1 rem/Jahr; 20jährige Frau (wegen der Möglichkeit einer ungeplanten Schwangerschaft): ca. 0,03 rem/Jahr; Männer und Frauen über 45 Jahre: ca. 0,15 rem/Jahr²⁵⁾.

Diese Empfehlungen werden sicherlich auf heftigen Widerstand stoßen²⁶⁾, sofern sie überhaupt diskutiert werden, denn Grenzwertsenkungen haben Kostenerhöhungen zur Folge. Jedoch lassen sich in der letzten Zeit

immerhin Anzeichen erkennen, daß seitens „offizieller“ Gremien den seit Jahren erhobenen Forderungen nach Grenzwertsenkungen²⁷⁾ möglicherweise Rechnung getragen werden könnte, wenn auch längst nicht in dem erforderlichen Umfang. So soll die ICRP auf ihrem Jahrestreffen 1987 in Como darüber beraten haben²⁸⁾, und die Britische Strahlenschutzbehörde soll sich jüngst für eine Herabsetzung ausgesprochen haben²⁹⁾.

3. Strahlenschutz in der Bundesrepublik

3.1 Rechtliche und institutionelle Grundlagen

Das Strahlenschutzrecht in der Bundesrepublik gestaltet sich einigermaßen unübersichtlich³⁰⁾. Das Atomgesetz³¹⁾ legt fest, daß „Leben, Gesundheit und Sachgüter vor den Gefahren der Kernenergie zu schützen“ seien (§ 1). Die grundlegenden Festsetzungen und Regelungen dazu sind Bestandteile der auf Grundlage des Atomgesetzes erlassenen Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und der Röntgenverordnung (RöV). Diese regeln den Umgang mit Röntgeneinrichtungen und Störstrahlern (RöV) sowie den Umgang mit Kernbrennstoffen und sonstigen radioaktiven Stoffen (StrlSchV) (siehe 3.2)³²⁾. Spezielle Schutzvorschriften finden sich

²⁰⁾ ICRP, Problems Involved in Developing an Index of Harm, Publication 27, Oxford 1978.

²¹⁾ Zum Vergleich: 1982 wurden in der chemischen Industrie 50, in Eisen- und Metallbetrieben 70 tödliche Arbeitsunfälle pro 1 Mill. Beschäftigte und Jahr (ohne Wegeunfälle) erfaßt. Vgl. *Hauptvorstand der gewerblichen Berufsgenossenschaften* (Hrsg.), Arbeitsunfallstatistik für die Praxis, Bonn 1984.

²²⁾ Ausführlich setzen sich damit auseinander: *Blum, A., Kuni, H.*, Arbeitsbedingungen in Wiederaufarbeitungsanlagen, Projektabschnitt II Medizin, Teil 2: Ableitung und Bewertung von Grenzwerten, Marburg 1985. – Eine Lektüre des 3teiligen Werkes oder zumindest der Kurzfassung wird dringend empfohlen!

²³⁾ *Nitschke, J., Weimer, G.*, Berufliche Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland von 1980 bis 1983, ISH-Hefi 68, Neuherberg 1985.

²⁴⁾ *Blum, A., Kuni, H.*, Arbeitsbedingungen. . . , a. a. O.

²⁵⁾ Ebenda, S. 2-4.

²⁶⁾ So z. B. – implizit – in der Stellungnahme der WAK/DWK vom 2. 12. 1986 zu ihrem Berichtsteil; enthalten in: *Arbeitsgemeinschaft Technik und Arbeitswelt des DGB-Bundesvorstandes*, Arbeitsbedingungen in nuklearen Wiederaufarbeitungsanlagen, Abschlußbericht (Kurzfassung), Düsseldorf 1986.

²⁷⁾ Vgl. z. B. *Morgan, K. Z.*, Cancer and Low Level Ionizing Radiation, in: Bulletin of the Atomic Scientist, Sept. 1978, S. 30-40. – *Rotblatt, J.*, The Risks for Radiation Workers, in: a. a. O., S. 41-46.

²⁸⁾ WISE NC 280, 2. 10. 1987.

²⁹⁾ The Independent, 19. 11. 1987, „Fears rise over legal safety limits“.

³⁰⁾ Es sei deshalb verwiesen auf kommentierte Ausgaben wie z. B. *Winters, K.-P.*, Atom- und Strahlenschutzrecht, Erläuterte Ausgabe, München 1978.

³¹⁾ Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen die Gefahren (Atomgesetz) vom 31. 10. 1976.

³²⁾ Die beiden genannten Verordnungen regeln den bestimmungsgemäßen Betrieb von Atomanlagen und Störfälle, d. h. nur Ereignisse, für die die Anlage ausgelegt ist. Dagegen befassen sich Katastrophenschutzgesetze und das noch 1986 als direkte Reaktion auf die Reaktorkatastrophe von Tschernobyl verabschiedete „Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung (Strahlenschutzvorsorgegesetz)“ mit großen Unfällen. Letzteres soll durch die Schaffung von Grundlagen für ein effektives und koordiniertes Vorgehen seitens der Behörden zukünftige Katastrophen besser verwalten.

daneben in einer Vielzahl weiterer Gesetze und Verordnungen.

Zuständig für Strahlenschutzfragen ist seit Juni 1986 der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (vorher: Bundesinnenminister). Er wird „beraten“ von der Reaktorsicherheitskommission (RSK), der Strahlenschutzkommission (SSK) und dem Kerntechnischen Ausschuß (KTA), denn das Atomgesetz legt zwar fest, daß kerntechnische Anlagen nur genehmigt werden dürfen, wenn „die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden“ getroffen worden ist (§ 7), äußert sich aber nicht konkreter. Die Höhe des Sicherheitsniveaus und die hinzunehmende Gefährdung werden vielmehr bestimmt durch die genannten Gremien, deren Mitglieder der Minister beruft. Ihre Sitzungen sind nicht öffentlich, und die Beratungen sind vertraulich.

Eine der Aufgaben der Strahlenschutzkommission charakterisierte Innenminister *Maihofer* anlässlich der konstituierenden Sitzung 1974 folgendermaßen: Die Bürger seien verunsichert wegen polemischer Kampagnen oder wegen fehlender Information in bezug auf die friedliche Nutzung der Kernenergie. Eine der Aufgaben der SSK sollte es sein, durch Auseinandersetzung mit den Argumenten der Kritiker „den Bürger vertraut zu machen mit den unvermeidbaren Risiken der Kernenergie“³³.

Die Empfehlungen der Strahlenschutzkommission sind, besonders nach Tschernobyl, zunehmend öffentlich wahrgenommen und kritisch beurteilt worden. Dies gilt auch für ihre personelle Verflechtung mit den Interessen der Atomindustrie³⁴.

3.2 Die Strahlenschutzverordnung

Die Strahlenschutzverordnung als „Grundgesetz“ im bundesdeutschen Strahlenschutzrecht³⁵ enthält Überwachungs- und Schutzvorschriften sowie allgemeine Strahlenschutzgrundsätze. Sie regelt u. a. folgende Bereiche:

- Umgang mit radioaktiven Stoffen,
- Transport, Ein- und Ausfuhr,
- Errichtung und Betrieb von Anlagen,
- Abfallbeseitigung,
- Organisation des betrieblichen Strahlenschutzes,
- Grenzwerte für Beschäftigte und Bevölkerung,
- Überwachung der Beschäftigten.

Aus dem großen Spektrum dieses äußerst umfangreichen und detaillierten Regelwerks soll hier nur auf einige grundsätzliche Bereiche eingegangen werden. Oberster Grundsatz ist das sog. *Minimierungsgebot*, d. h.: jede Strahlenbelastung ist so gering wie möglich zu

Tabelle 3

Vergleich der bisher gültigen Dosisgrenzwerte für Beschäftigte der Kategorie A¹⁾ mit den geplanten Änderungen durch die Novellierung der Strahlenschutzverordnung (rem/Jahr)

Organ	Strahlenschutzverordnung	
	von 1976	Nov.entwurf 1986
Ganzkörper	5	-
effektive Dosis	-	5
Keimdrüsen, Gebärmutter	5	5
Rotes Knochenmark	5	5
Knochen	30	-
Knochenoberfläche	-	30
Schilddrüse, Haut	30	30
sonstige Organe	15	15
Extremitäten ²⁾ incl. der zugehörigen Haut	60	50

1) Die StrlSchV unterscheidet Beschäftigte der Kategorie A und B. Zur Kategorie A gehören Personen, die mehr als 3/10 der in dieser Tabelle aufgeführten Grenzwerte erhalten können. - 2) Vom Körper abgehende Gliedmaßen.

Quellen: Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung) vom 13. 10. 1976. - Der Bundesminister des Innern, Zweite Verordnung zur Änderung der Strahlenschutzverordnung, Entwurf Stand März 1986. Ein endgültiger Novellierungsentwurf liegt noch nicht vor.

halten, allerdings „unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles“ (§ 28 Abs. 2 StrlSchV).

Die in § 49 StrlSchV in Verbindung mit Anlage X festgelegten *Dosisgrenzwerte für Beschäftigte* - die bisher gültigen sowie die geplanten Änderungen aufgrund der anstehenden Novellierung - sind in Tabelle 3 aufgeführt. Es fällt auf, daß der Novellierungsentwurf zwar das Konzept der effektiven Dosis übernimmt, jedoch nicht in der „reinen“ Form. Die Organdosisgrenzwerte (mit Ausnahme der Extremitäten, also der vom Rumpf abgehenden Gliedmaße) liegen unter den ICRP- bzw. Euratom-Werten. Das ist zu begrüßen. Allerdings muß bezweifelt werden, daß selbst diese niedrigeren Grenzwerte - das gilt insbesondere für Keimdrüsen und Gebärmutter, d. h. für kommende Generationen und für das werdende Leben - einen angemessenen Schutz bieten.

Um die Einhaltung der Dosisgrenzwerte zu gewährleisten, müssen die Beschäftigten (und die Arbeitsplätze) überwacht und die Dosis gemessen werden. Es hat sich gezeigt, daß hier erhebliche Mängel im Hinblick auf die amtlichen Messungen der äußeren Strahlenbelastung bestehen. So liegt die untere Nachweisgrenze der amtlichen Filmdosimeter im Bereich von etwa 50 bis 100 mrem pro Monat, was insgesamt zu Unterschätzun-

³³) Der Bundesminister des Innern, Strahlenschutzkommission Aufgaben-Arbeitsweise- Ergebnisse, Köln 1983.

³⁴) Vgl. z. B. *Erb-Sommer, M.*, Das Feigenblatt der Atomindustrie: Die Strahlenschutzkommission, in: KATALYSE (Hrsg.), Strahlung im Alltag, Zweitausendeins-Verlag, Frankfurt 1986. - *Finck, U., Wahrlich, H.*, Schützen uns die Strahlenschützer? in: Öko-Test, Juli 1986.

³⁵) *Winters, K.-P.*, Atom- und Strahlenschutzrecht. . . , a. a. O., S. 56.

gen von 1 rem pro Jahr führen kann. Auch die Verfahren zum Nachweis von Inkorporationen, also Aufnahme von Radionukliden in den Körper, sind sehr ungenau und werden den Anforderungen der Überwachungsvorschriften nicht gerecht³⁶⁾.

Für die *Bevölkerung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen* gilt das sog. 30 mrem-Konzept, d. h. eine Anlage muß so geplant sein, daß im bestimmungsgemäßen Betrieb durch die Ableitung radioaktiver Stoffe über den Kamin oder mit dem Abwasser jeweils 30 mrem pro Jahr Ganzkörperdosis (zukünftig: effektive Dosis) und bestimmte Teilkörperdosen nicht überschritten werden (§ 45 StrlSchV). Diese Belastungen müssen berechnet werden, und zwar mit Hilfe von Modellen und Daten, die den Weg und das Verhalten radioaktiver Stoffe vom Beginn ihrer Freisetzung in die Luft oder ein Gewässer bis hin zum einzelnen Menschen beschreiben sollen. Über die Art der anzunehmenden Modelle und Daten – letztere unterliegen naturgemäß großen Schwankungen – kam es immer wieder zu heftigen Auseinandersetzungen, insbesondere bei Genehmigungsverfahren³⁷⁾.

Die von der ICRP festgelegten Wichtungsfaktoren zur Berechnung der effektiven Dosis sollen auch in der Bundesrepublik unverändert übernommen werden – ein höchst fragwürdiges Vorgehen. So weist selbst ein Ausschuß der SSK darauf hin, „daß der Wichtungsfaktor für die Schilddrüse aufgrund einer höheren Mortalität bei Schilddrüsenerkrankungen in der Bundesrepublik (. . .) größer anzusetzen ist als der ICRP-Wert, und daß man deshalb bei der Dosisgrenzwertfestsetzung vorsichtig sein sollte, wenn man nicht generell das ganze Schema der Wichtungsfaktoren in Frage stellen will“³⁸⁾.

4. Kritik, Alternativen und Ansätze zur Veränderung

Tschernobyl hat einer größeren Öffentlichkeit sichtbar gemacht, was in Fachkreisen bereits zunehmend diskutiert wurde: daß nämlich die Welt des Strahlenschutzes nicht mehr „heil“ und ein Umdenken dringend erforderlich ist³⁹⁾. Zwei wesentliche Bereiche sollen hier herausgegriffen werden.

4.1 Entscheidungen über zumutbare Risiken

Grenzwerte für den Umgang mit Strahlung verhindern keine Schäden (ebensowenig wie bei anderen krebserzeugenden und mutationsauslösenden Stoffen), sondern begrenzen sie auf ein mehr oder weniger genau zu beschreibendes Niveau. Bei Grenzwerten handelt es sich um politische Festlegungen, die von wirtschaftlichen, technischen und sozialen Bedingungen abhängen. Eine Entscheidung darüber darf nicht allein denjenigen Politikern und Wissenschaftlern überlassen bleiben, die aus angeblichen „Sachzwängen“ heraus han-

deln oder aufgrund vorgeblich wertneutraler wissenschaftlicher Erkenntnisse hinter verschlossenen Türen mit einfacher Stimmenmehrheit „zumutbare“ Risiken festlegen. Vielmehr muß – unter Beteiligung aller Betroffenen – eine breite gesellschaftliche Übereinkunft darüber erzielt werden, welches Maß an Gefährdung dem Einzelnen und der gesamten Gesellschaft zuzumuten ist.

Grundsätzlich ist hier natürlich vor allem auch über die Frage der kommerziellen Nutzung der Atomenergie zu entscheiden. Tschernobyl hat nachdrücklich gezeigt, daß Reaktorkatastrophen keine hypothetischen Ereignisse sind. Der beste und wirkungsvollste Beitrag zur Beseitigung dieser Bedrohung ist die Beendigung der kommerziellen (und militärischen!) Nutzung der Atomenergie, denn dann brauchen diese Risiken erst gar nicht minimiert zu werden. Wichtige Rollen in dieser Auseinandersetzung spielen neben den Gewerkschaften auch die Kirchen und einige Parteien sowie die Bürgerinitiativbewegung im weitesten Sinne.

Auf jeden Fall aber ist zu fordern, daß in den zuständigen Gremien der „beratende Sachverstand“ nicht allein die Interessen der Atomindustrie vertritt (oder, um es verbindlich auszudrücken, die friedliche Nutzung der Kernenergie fördert). Vielmehr ist eine „Beteiligung nach Betroffenheit“ anzustreben, bei der auch die Interessen von Arbeitnehmern, Bevölkerung, Patienten und Natur vertreten werden. Daneben besteht auch die Notwendigkeit, ein starkes Gegengewicht zur ICRP und – auf nationaler Ebene – zur Strahlenschutzkommission zu schaffen. Die Gründung der BUND-Strahlenkommission, der zahlreiche „kritische“ WissenschaftlerInnen angehören sowie die Absicht, ein eigenes BUND-Strahleninstitut einzurichten, sind ein wichtiger Schritt in diese Richtung⁴⁰⁾.

4.2 Ausweitung der Schutzkonzepte

Hier steht zum einen die Forderung nach der längst fälligen Herabsetzung der Grenzwerte für die Beschäftigten im Vordergrund, um einen verbesserten Schutz Einzelner zu gewährleisten. Darüber hinaus sollte erwogen werden, daß Frauen mit aktuellem Kinderwunsch

³⁶⁾ *Arbeitsgemeinschaft Technik und Arbeitswelt des DGB-Bundesvorstandes, Arbeitsbedingungen . . . a. a. O., S. I.4.3-1f.*

³⁷⁾ Mit der Novellierung der StrlSchV sollen diese radioökologischen Annahmen nicht mehr wie bisher in einer Verwaltungsvorschrift zu § 45 geregelt, sondern in die StrlSchV selbst integriert werden. Vgl. dazu: *Fink, U., Wen schützt die neue Strahlenschutzverordnung? Stellungnahme zur geplanten Novellierung, Gruppe Ökologie, Hannover 1986.*

³⁸⁾ Zusammenfassung der Beratungsergebnisse des Ausschusses „Novellierung der Strahlenschutzverordnung“ des Bundesminister des Innern. 21. 6. 1985.

³⁹⁾ Vgl. z. B. *Maushart, R., Der Strahlenschutz vor schwierigen Aufgaben, in: atomwirtschaft, Dezember 1986, S. 605-608. – Morgan, K. Z., ICRP Risk Estimates . . . a. a. O.*

⁴⁰⁾ *Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland, Beschluß auf der Sitzung im Oktober 1987.*

wegen der Gefährdung des ungeborenen Lebens, insbesondere in der Frühzeit einer unentdeckten Schwangerschaft, nicht in Strahlenschutzbereichen arbeiten⁴¹⁾).

Andererseits muß jedoch auch die Kollektivdosis begrenzt werden, weil nur so die Anzahl der insgesamt zu erwartenden Krebsfälle und genetischen Schäden begrenzt werden kann. Das bedeutet für die betriebliche Praxis, daß keine „Verdünnung des Risikos“ durch den Einsatz beliebig vieler Arbeitskräfte (häufig Leiharbeiter) erfolgen darf, vielmehr die Gesamtdosis durch technische Maßnahmen wie Automatisierung, Abschirmung usw. niedrig zu halten ist.

Die Forderung gilt auch für die Bevölkerung. Hier fällt der Novellierungsentwurf zur Strahlenschutzverordnung hinter die EG-Richtlinie von 1980 zurück, die in Artikel 13 den Auftrag zur Kontrolle der Kollektivdosis der Gesamtbevölkerung festlegt.

Die erkannten Mängel der betrieblichen Überwachung und Kontrolle müssen beseitigt werden. Dazu gehören u. a. der Einsatz von Dosimetern mit höherer Empfindlichkeit und Zuverlässigkeit sowie – bei der Beschäftigung von Fremdpersonal – verbesserte Vor-

schriften sowie ihre konsequente Durchsetzung bereits bestehender Vorschriften⁴²⁾).

Die Anerkennung einer Krebserkrankung als Berufskrankheit bei strahlenexponiert Beschäftigten stößt innerhalb der geltenden Rechtsprechung auf nahezu unüberwindliche Probleme, weil ein kausaler Zusammenhang zwischen Bestrahlung und Schaden nicht hergestellt werden kann und das Kriterium der überwiegenden Wahrscheinlichkeit der Verursachung bei häufig auftretenden Krebserkrankungen wie z. B. Lungenkrebs nicht greift.

Blum und *Kuni* schlagen deshalb vor, eine „Grenzdosis“ der Anerkennung festzulegen, die sich am Grenzwert der beruflichen Strahlenbelastung orientiert. Eine Festlegung z. B. auf das zweifache der zur Zeit gültigen Jahresgrenzwerte würde, wie ihre Berechnungen zeigen, unter den derzeitigen Bedingungen zur Anerkennung von etwa drei Viertel der beruflich bedingten zu erwartenden Krebstodesfälle führen⁴³⁾.

⁴¹⁾ *Blum, A., Kuni, H., Arbeitsbedingungen...*, a. a. O., Teil 2, S. 2-5.

⁴²⁾ Ebenda, Teil 3: Aufgaben der medizinischen Betreuung. Kap. 1.4.

⁴³⁾ Ebenda, Teil 3: Kap. 1.6.2.

Zusammenfassungen

Fink, Ulrike

Kritik und Alternativen der Strahlenschutzpolitik

in WSI-Mitteilungen 2/1988, Seiten 124–131

Als Folge der Nuklearkatastrophe von Tschernobyl stand die Strahlenschutzpolitik für kurze Zeit im Mittelpunkt des öffentlichen Interesses. Trotzdem blieben ihre Strukturen und Entscheidungsmechanismen auch innerhalb der Gewerkschaften wenig bekannt. Der Artikel beschreibt die Grundlagen der Strahlenschutzpolitik. Vor allem die Grenzwerte und deren Begründungen sowie die Gremien, die sie erstellen, werden einer kritischen Analyse unterzogen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission und deren Umsetzung in das deutsche Strahlenschutzrecht.

Köhler, Barbara Maria / Zwingmann, Bruno

Grenzwerte, Verbote, Innovationsprogramme – Risikobewertung und Schutzkonzepte gegenüber Schadstoffen

in WSI-Mitteilungen 2/1988, Seiten 58–69

Die Schadstoffpolitik ist auch nach ihrem massiven Ausbau im Arbeits-, Verbraucher- und Umweltschutz in den siebziger Jahren nach wie vor schwerpunktmäßig auf die der Innovation folgende Regelung von Schadenswirkungen ausgerichtet. Unabhängig davon, daß diese Politikstrukturen selbst noch erhebliche Mängel und große Lücken auf-

weisen, zeigen sich seit Beginn der siebziger Jahre die Grenzen dieses Politikmusters selbst immer deutlicher. Die Begrenzung des Entstehens neuer und die möglichst weitgehende Beseitigung bestehender Schadstoffbelastungen und -risiken wird immer häufiger zum Thema gesellschaftlicher Auseinandersetzungen. Die Durchsetzung umfassender Schutzkonzeptionen, die auf die Beseitigung der Entstehungsursachen von Schadstoffrisiken selbst zielen, erwies sich bisher allerdings nur als äußerst langsam, schwierig und nur für wenige Teilbereiche durchsetzbar. Im Rahmen einer solchen integrierten Schutzkonzeption stellt sich insgesamt auch die Frage nach der demokratischen Legitimation der Entscheidung über die Zumutbarkeit oder Nicht-Zumutbarkeit von Schadstoffrisiken grundsätzlich neu.

Schmitz-Feuerhake, Inge

Ausmaß und Verteilung von Strahlenrisiken für Arbeitnehmer und Bevölkerung

in WSI-Mitteilungen 2/1988, Seiten 116–124

Über strahlenbedingte Krebserkrankungen liegt heute ein umfangreiches Datenmaterial vor, das quantitative Angaben über die Gefährdung auch bei niedrigen Dosen gestattet, wie sie im Bereich medizinischer Diagnostik, am Arbeitsplatz und durch radioaktive Umweltverschmutzungen vorliegen. Dennoch gibt es darüber heftige Kontroversen, deren Inhalt und Ursachen behandelt werden. Anhand der gegenwärtig vorliegenden Strahlenbelastungen und festgestellter Defizite bei der Überwachung werden notwendige Verbesserungen des Strahlenschutzes diskutiert, insbesondere wird die Senkung der Jahreshöchstdosis für beruflich strahlenexponierte Personen gefordert.

Ausmaß und Verteilung von Strahlenrisiken für Arbeitnehmer und Bevölkerung

Von Inge Schmitz-Feuerhake*)

1. Einleitung

Die Schutzvorschriften bei beruflichem Umgang mit Strahlen werden gern als vorbildlich für andere beruflich bedingte Belastungen hingestellt, und die gesundheitlichen Wirkungen von Strahlen gelten als besonders gut erforscht. Tatsächlich erschien bereits 1911 das erste Lehrbuch über Strahlenkrebs durch Röntgendiagnostik¹⁾. In den 30er Jahren untersuchte *Hermann J. Muller* strahlenbedingte Mutationen (Erbgutveränderungen) an der Taufliege. 1946 erhielt er dafür den Nobel-

preis für Medizin. Die Dosiseffektkurven beschrieb er als linear ohne Schwelle²⁾. Daraus war zu folgern, daß es keinen sicheren Dosisbereich gibt, innerhalb dessen eine Schädigung ausgeschlossen werden kann. 1936 gab er zu bedenken³⁾, daß er ebenfalls für somatische Effekte⁴⁾ keinerlei sicheren Dosisbereich annehmen könne, da man bereits zu dieser Zeit der Auffassung war, daß strahlenbedingter Krebs von einer mutierten Körperzelle ausgeht.

Da er als einer der ersten vor künstlich produzierter Radioaktivität warnte, schloß man ihn als Festredner

Gliederung

1. Einleitung
2. Art der Strahlenbelastung und gesundheitliche Wirkung
3. Quantitative Angaben zum somatischen Risiko bei niedriger Dosis
4. Dichtung und Wahrheit über Gesundheitsschäden bei beruflich Strahlenexponierten
5. Quantitative Verteilung von Strahlenbelastungen
6. Schlußfolgerungen

*) Prof. Dr. rer. nat., Universität Bremen.

¹⁾ *Hesse, O.*, Das Röntgenkarzinom. Leipzig 1911.

²⁾ Der Effekt beginnt bereits von Null an mit zunehmender Dosis zu steigen und die Häufigkeit der Schädigung ist proportional zur Dosis. Das bedeutet, daß in einem großen bestrahlten Kollektiv von Individuen bei jeweils der Hälfte der Dosis noch die halbe Schadensrate auftritt.

³⁾ *Muller, H.J.*, Über die Wirkung der Röntgenstrahlen auf die Erbmasse. in: *Strahlentherapie* 55/1936, S. 207 ff.

⁴⁾ *somatisch* = körpereigen, somatische Effekte nennt man im Strahlenschutz die am eigenen Körper nach Bestrahlung auftretenden, im Gegensatz zu den genetischen, die die Nachkommen betreffen. Bei niedriger Dosis werden somatische Effekte gleichgesetzt mit Krebserkrankungen und gutartigen Tumoren.

auf der Genfer Atomkonferenz 1955 aus, wo Präsident Eisenhower das weltweite Programm „Atome für den Frieden“ proklamierte.

Die Auseinandersetzung um das Für und Wider der Atomenergienutzung hat seitdem eine vorurteilslose und angemessene Diskussion neuer Erkenntnisse über Bestrahlungsfolgen und ihre Umsetzung in Strahlenschutznormen unmöglich gemacht. Die Auswirkungen politischer Vorgaben erstrecken sich dabei auch auf den zweiten für die Strahlenbelastung der Bevölkerung und von Arbeitnehmern bedeutsamen Bereich, der direkt mit der Atomenergienutzung gar nichts zu tun hat: den der medizinischen Radiologie⁵⁾.

Trotz eines inzwischen vorliegenden überwältigenden Datenmaterials darüber, daß Spätschäden nach Niederdosisbestrahlung tatsächlich eingetreten sind und die Mullerschen Warnungen bestätigen, ist die offizielle Lesart so, daß innerhalb der zulässigen Dosisgrenzwerte so gut wie nichts passieren kann. Ärzte beklagen die „Strahlenhysterie“ ihrer Patienten.

2. Art der Strahlenbelastung und gesundheitliche Wirkung

„Beruflich strahlenexponiert“ sind solche Personen, die bei ihrer Tätigkeit einer „ionisierenden“ Strahlung ausgesetzt sind und diese einen bestimmten Pegel erreichen kann. Dazu gehören Röntgenstrahlen z. B. in der Medizin und radioaktive Strahlen z. B. in Atomkraftwerken⁶⁾. Die Energie dieser Art Strahlung reicht aus, um Materie zu ionisieren, d. h. aus neutralen Atomen und Molekülen Elektronen abzuspalten. Auf diese Ursache und die damit verbundenen chemischen Veränderungen führt man die biologischen Wirkungen zurück. „Dicht ionisierende“ Strahlung erzeugt mehr Ionisationen pro Wegstrecke als „locker ionisierende“ und kann daher in wichtigen Biomolekülen von großer Ausdehnung zu nachhaltigeren Schäden führen⁷⁾.

Als Maß für die biologische Wirkung verwenden wir die „Äquivalentdosis“ in rem, die dicht und locker ionisierende Strahlung vergleichbar macht⁸⁾. Durch natürlich vorhandene Umgebungsstrahlung und in unserem Körper beigemischte radioaktive Stoffe sind wir ständig einem Strahlenpegel ausgesetzt, der bei uns ca. 0,1 rem pro Jahr beträgt und den gesamten Körper etwa gleichmäßig betrifft. Hinzu kommt eine jährliche Lungendosis von bis zu einigen rem durch radioaktives Radon, ein Edelgas, in der Atemluft.

Die Dosen in der medizinischen Diagnostik liegen zwischen einigen Zehntel rem bis einigen rem und betreffen meist nur einen Teil des Körpergewebes. Man schätzt für die Industrienationen, daß die Belastung durch medizinische Bestrahlung inzwischen im Mittel etwa so hoch ist wie die natürliche.

Woher kommt nun die Vorstellung von der fehlenden Schwellendosis, die trotz aller Auseinandersetzungen um das Ausmaß der Strahlenschäden im Niederdosisbereich die allgemeine strahlenbiologische Lehrmeinung darstellt? Als das eigentlich empfindliche Gebiet im biologischen System sieht man den Zellkern an, wo das genetische Material konzentriert vorliegt. Ein einzelnes Quant aus einer ionisierenden Strahlung⁹⁾ reicht im Prinzip aus, um eine genetische Veränderung im Zellkern herbeizuführen. Eine einzelne mutierte Zelle kann Ausgangsort eines Spätschadens sein, der entweder somatisch ist oder genetisch, sofern eine Keimzelle betroffen war. Da es dabei darauf ankommt, wo das Quant *zufälligerweise* im Körper absorbiert (aufgenommen) wird, spricht man von „stochastischen“ Schäden, die bei kleiner Dosis entsprechend selten auftreten. Bei weitem nicht jeder Bestrahlte wird davon betroffen, sondern man kann nur von einer Wahrscheinlichkeit des Eintreffens reden. Als weitere stochastische Schäden sind noch eine Gruppe von Wirkungen zu beachten, die sich als Mißbildungen, Entwicklungs- und Funktionsstörungen bei Neugeborenen nach vorgeburtlicher Bestrahlung zeigen. Im frühen Entwicklungsstadium kann ebenfalls die Veränderung einer einzigen Zelle nachhaltige Folgen haben oder in diesem Fall auch der Tod einer Zelle, der ebenso im Prinzip durch 1 Strahlenquant bewirkt werden kann¹⁰⁾.

Natürlich kann man die Folgen eines einzelnen Quants nicht untersuchen. Jedoch gibt es starke Anzeichen für die Richtigkeit dieser Mutationstheorie, die einerseits auf molekularbiologischer Grundlagenfor-

⁵⁾ *Radiologie*: Gebiet der medizinischen Anwendungen von Röntgen- und radioaktiven Strahlen sowie Strahlung von Teilchenbeschleunigern in Diagnostik und Therapie.

⁶⁾ Radioaktivität liegt jedoch auch ohne das Eingreifen des Menschen vor, teils stammt sie aus der Entstehungsgeschichte der Erde, teils wird sie in der Atmosphäre ständig nachgebildet.

⁷⁾ Zur *dicht ionisierenden Strahlung* gehören Alphastrahlen und Neutronen; letztere werden bei der Kernspaltung in Atombomben und in Atomkraftwerken freigesetzt. Zur *locker ionisierenden Strahlung* zählen Röntgen-, Beta- und Gammastrahlen. Alpha-, Beta- und Gammastrahlen entstehen durch Zerfall von Atomkernen. Sie bilden die „radioaktiven“ Strahlen.

⁸⁾ Zur Gewinnung der Äquivalentdosis muß man zunächst die Energiedosis wissen. Sie ist eine rein physikalische Größe und gibt die absorbierte Strahlungsenergie pro Gewebemasse an. Diese wird mit einem Bewertungsfaktor multipliziert, der die verschiedenen starken biologischen Wirkungen der unterschiedlichen Strahlenarten bei gleicher Energiedosis angibt. Der Qualitätsfaktor wird für locker ionisierende Strahlung gleich 1 gesetzt, 1 rem entspricht dann 0,01 Joule pro kg Gewebe. Für Alphastrahlung kann er 10 oder 20 betragen, d. h. ein Zehntel bzw. ein Zwanzigstel der Energiedosis bei Alphastrahlung würde den gleichen Effekt haben wie bei Röntgen- oder anderer locker ionisierender Strahlung.

⁹⁾ Jede ionisierende Strahlung muß man sich als Fluß einzelner Quanten vorstellen. Auch die materielose Wellenstrahlung (Röntgen, Gamma) reagiert mit Materie so, als ob sie aus Teilchen wie die Alpha- und Betastrahlung bestünde.

¹⁰⁾ Im erwachsenen Individuum macht sich das Absterben einzelner Zellen nicht bemerkbar, sofern die Dosis klein bleibt und nur wenige Zellen betroffen sind. In der Strahlentherapie wird die zelltötende Wirkung zur Zerstörung von Tumorgewebe eingesetzt, dazu werden Gewebedosen von 1 000 und mehr rem benutzt.

...suchung fußen und andererseits darin bestehen, daß Dosis-effektkurven, bis in den rem-Bereich gemessen, linear und ohne erkennbare Schwelle sind. Dazu gehören Störungen der Chromosomen, die man in den weißen Blutkörperchen von Menschen finden kann als im Mikroskop sichtbare Verformungen der Erbsubstanz von Zellen. Nach Bestrahlung mit 1 rem ist die Rate der sog. dizentrischen Chromosomen bereits verdoppelt gegenüber dem Spontanvorkommen. In Bevölkerungen bei Badgastein, in Brasilien, in Kerala/Indien und China, wo eine erhöhte natürliche Strahlenbelastung vorliegt, wurde eine deutliche Erhöhung dieser Wirkung nachgewiesen. Ebenso findet sich ein Vielfaches der Spontanrate bei beruflich exponierten Personen in der Radiologie und in kerntechnischen Anlagen, auch wenn sie innerhalb der zulässigen Jahreshöchstdosis von 5 rem gearbeitet haben. Diese Wirkung gestattet, Strahlenbelastungen noch nach Jahren nachzuweisen und wird zur „biologischen“ Dosimetrie eingesetzt.

3. Quantitative Angaben zum somatischen Risiko bei niedriger Dosis

Chromosomenstörungen dienen als Indikator und gehen nicht mit merkbaren Gesundheitsschäden einher. Die meisten Befunde beim Menschen über stochastische Erkrankungen gibt es für strahlenbedingten Krebs. Die niedrigsten Dosen, bei denen eine Erhöhung bösartiger Erkrankungen bei Menschen gefunden worden ist, lagen bei Untersuchungen an Kindern vor, deren Mütter während der Schwangerschaft aus diagnostischen Gründen mit Röntgenstrahlen behandelt worden waren. Da Krebs im Kindesalter normalerweise sehr selten ist, konnte eine Beziehung zwischen Strahlendosis der

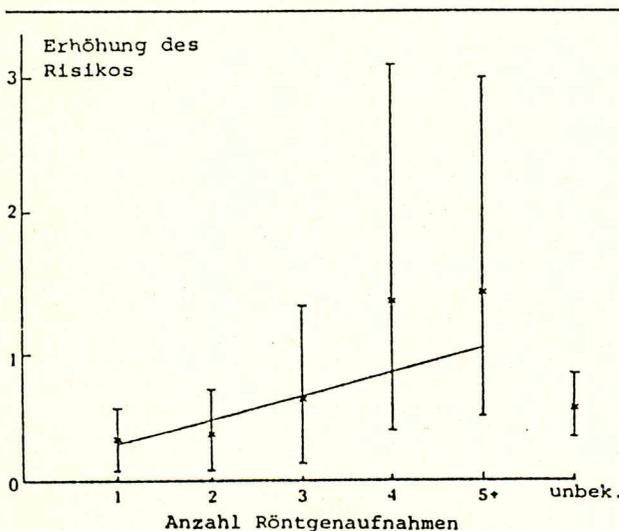
Mutter und Krebsrate festgestellt werden. Zuerst geschah dies durch *Alice Stewart* Ende der 50er Jahre. Die Schlußfolgerungen *Stewarts* und ihres Mitarbeiters *Kneale* wurden heftig angegriffen. Die Untersuchung wurde dann ausgedehnt zu der sog. Oxford-Studie (siehe Abb. 1). In zwei großen epidemiologischen Untersuchungen in den USA¹¹⁾ und in mehreren kleineren Untersuchungskollektiven wurden die Befunde immer wieder bestätigt. Interessant ist, daß das Krebsrisiko, d. h. die Rate pro rem, in diesen Kollektiven nicht höher war als für bestrahlte Erwachsene. Ebenso zeigt sich, daß der Unterschied der Empfindlichkeit im jugendlichen- und im Erwachsenenalter bei weitem nicht so dramatisch groß ist, wie aufgrund der verschiedenen Zellteilungsgeschwindigkeiten in den verschiedenen Lebensaltern vorhergesagt worden war. Dies hängt offensichtlich damit zusammen, daß im Entwicklungsstadium und im jugendlichen Alter wesentlich weniger Zellen vorliegen, die Ausgangspunkt der beschriebenen Mutationen werden können. Außerdem sind die sicherlich vorhandenen Reparaturen im Zellsystem und immunologischen Reaktionen auf entartete Zellen wahrscheinlich auch altersabhängig.

Die Risikofaktoren für bestrahlte Personen im Kindes- und Erwachsenenalter können heute relativ verläßlich von Untersuchungen abgeleitet werden, die einen sehr großen Dosisbereich überstreichen. Dies trifft insbesondere auf die in den Abbildungen 2 – 5 gezeigten Krebserkrankungen zu. Angegeben sind dort auch Risikoschätzungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP (International Commission on Radiological Protection), das führende Expertengremium, auf das sich die Industrienationen bei der Strahlenschutzgesetzgebung berufen.

Die verschiedenen Körpergewebe sind verschieden strahlenempfindlich, die Häufigkeitsverteilung unterscheidet sich von der, die man normalerweise beobachtet. Die höchsten Erzeugungsraten pro rem werden für Krebs der weiblichen Brust, der Schilddrüse, der Atmungsorgane, der Speicheldrüsen, für Leukämie, für Krebs des Magen-Darmtrakts und für Hirntumore gefunden.

Zu beachten sind die sehr langen Latenzzeiten, das sind die Zeitspannen, die zwischen Bestrahlung und Auftreten der Erkrankung liegen. Ein Beispiel für strahlenbedingten Brustkrebs zeigt Abb. 3; in dieser Studie waren 20 Jahre nach der Bestrahlung erst 30 vH der Krebserkrankungen aufgetreten. Nur bei Leukämie

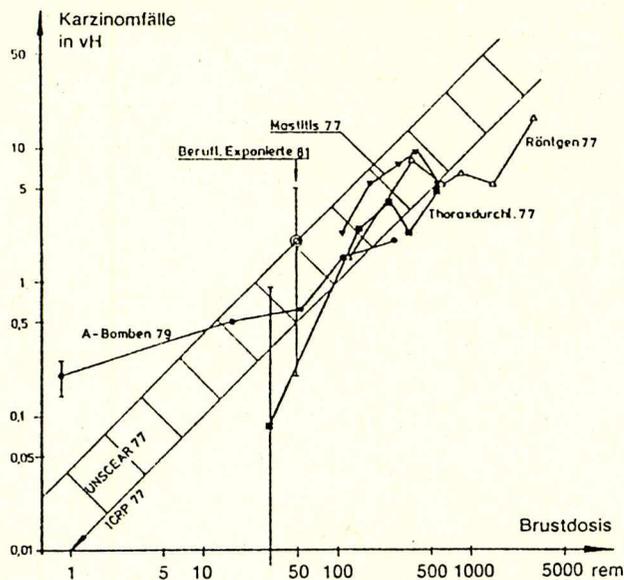
Abbildung 1
Krebs im Kindesalter (<15 J.) nach vorgeburtlicher Bestrahlung



Quelle: *Bithell, J. F., A. M. Stewart, Pre-natal irradiation and childhood malignancy, in: British Journal of Cancer 31, 1975, S. 271 ff.*

¹¹⁾ *Diamond, E.L., The relationship of intra-uterine radiation to subsequent mortality and development of leukemia in children, in: American Journal of Epidemiology 97, 1973, S. 283 ff. – MacMahon, B., Prenatal X-ray exposure and childhood cancer, in: Journal of the National Cancer Institute 28/1962, S. 1 173 ff. Die Epidemiologie untersucht Überhäufigkeiten, die mehr als zufallsbedingt sind.*

Abbildung 2
Strahlenbedingter Brustkrebs nach verschiedenen Untersuchungen



Alter der Frauen bei Bestrahlung ≥ 10 Jahre

A-Bomben: japan. Atombombenüberlebende

Berufl. Exponierte: Zifferblattmalerinnen, nach: Baverstock, K. F., u. a., Risk of radiation at low dose rates, in: Lancet, February 21., 1981, S. 430 ff.

Mastitis: Strahlentherapie bei Brustentzündung

Röntgen: verschiedene Röntgentherapien

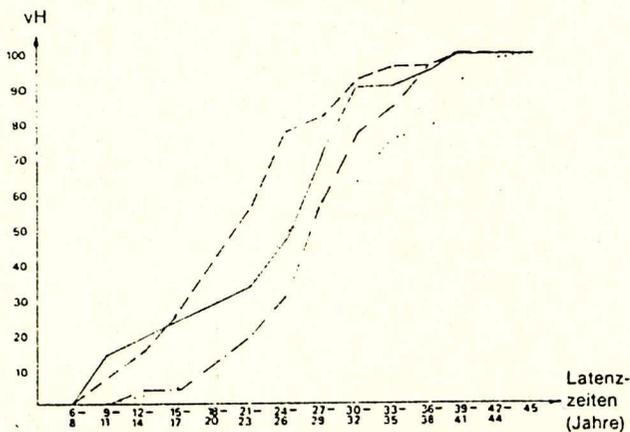
Thoraxdurchl.: Durchleuchtung der Lunge bei Tuberkulosekranken

UNSCEAR: Risikoschätzung aus dem Report der Vereinten Nationen von 1977, der schraffierte Bereich entspricht einem Vorkommen von 100-450 Fällen pro 1 Million bestrahlte Frauen mit 1 rem

ICRP: Schätzung der Internationalen Strahlenschutzkommission von 1977 (Linie mit Pfeil), sie entspricht einem Risiko von 100 Fällen auf 1 Million bestrahlte Frauen mit 1 rem

Weitere Quellen: Schmitz-Feuerhake, I., u. a., Abschätzungen zum somatischen Strahlenrisiko und die Empfehlungen der ICRP-Publikation Nr. 26 (1977), in: Fortschritte Röntgenstrahlen 131, 1979, S. 83 ff.

Abbildung 3
Latenzzeiten für strahlenbedingten Brustkrebs in verschiedenen Altersklassen

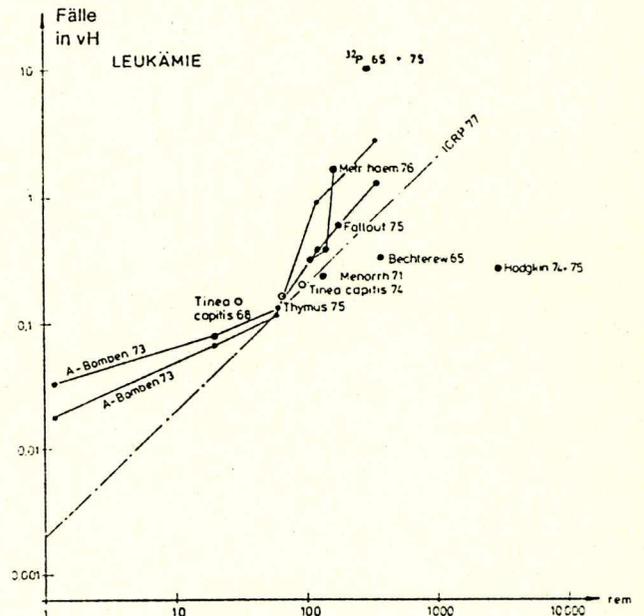


Quelle: Baral, E., u. a., Breast cancer following irradiation of the breast, in: Cancer 40, 1977, S. 2905 ff.

(Blutkrebs) kennt man wesentlich geringere Latenzzeiten.

Den Abbildungen 2 und 4 kann man entnehmen, daß die ICRP-Schätzungen unterhalb fast aller Einzelmesswerte liegen. Das erklärt sich daraus, daß die ICRP keine lineare Dosiseffektkurve annimmt, sondern – außer für Brustkrebs – eine linear-quadratische, d. h. sie geht davon aus, daß der Effekt bei höherer Dosis stärker zunimmt als dosisproportional. Sie behauptet, daß Schadensraten mangels Meßwerten bei niedriger Dosis aus Werten bei hoher Dosis abgeleitet werden müßten und dann entsprechend abgesenkt werden könnten (tatsächlich um den Faktor 3). Ihre Schätzung wird in Tabelle 1 mit der anderer Gremien und Experten zusammengestellt, die sich im Prinzip alle auf das gleiche Datenmaterial berufen oder nur auf die japanischen Atom-

Abbildung 4
Strahlenbedingte Leukämie in verschiedenen Untersuchungen



○ Alter bei Bestrahlung < 10 J.

● Alter bei Bestrahlung ≥ 10 J.

A-Bomben: Japanische Atombombenüberlebende

Fallout: vom Test einer Wasserstoffbombe 1954 betroffene Marshallinsulaner

Hodgkin: Patienten nach Strahlentherapie wegen Hodgkinscher Krankheit, einer Erkrankung des Lymphsystems

ICRP: Schätzung der Internationalen Strahlenschutzkommission von 1977

Menorrh.: Patientinnen nach Strahlentherapie wegen verstärkter Regelblutung

Metr. haem.: Patientinnen nach Strahlentherapie wegen Gebärmutterblutungen

^{32}P : Strahlenbehandlung mit radioaktivem Phosphor

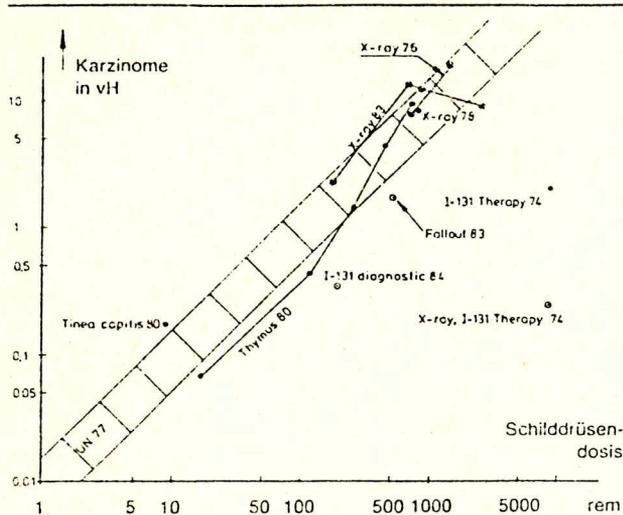
Bechterew: Röntgentherapie bei Bechterewscher Krankheit

Thymus: Röntgenbestrahlung wegen Thymusdrüsenvergrößerung im 1. Lebensjahr

Tinea capitis: Röntgentherapie des Kopfes wegen Pilzkrankung

Quelle: Schmitz-Feuerhake, I., u. a., Abschätzungen zum somatischen Strahlenrisiko und die Empfehlungen der ICRP-Publikation Nr. 26 (1977), in: Fortschritte Röntgenstrahlen 131, 1979, S. 84 ff.

Abbildung 5
Vorkommen strahlenbedingter Schilddrüsenkarzinome
in Abhängigkeit von der Schilddrüsendosis
in verschiedenen Kollektiven



Fallout: in vom H-Bombentest 1954 betroffenen Marshallinsulanern, beobachtete 25 J. danach.

I-131 diagnostic: diagnostischer Radiojodtest im Saarland, Daten von: Glöbel, E., u. a., Epidemiologic studies on patients with iodine-131 diagnostic and therapy, International Radiation Protection Association, International Congress Berlin May 1984. Kontrolle durch das saarländische Tumregister. -

I-131 therapy: nach Jodtherapie bei Schilddrüsenüberfunktion. - Thymus: Röntgenbestrahlung wegen Thymusdrüsenvergrößerung im 1. Lebensjahr. -

X-ray: Röntgentherapie im Hals-Kopfbereich. -

UN: Risikoschätzung aus dem Report der Vereinten Nationen von 1977, der schraffierte Bereich entspricht einem Vorkommen von 50-150 Fällen pro 1 Million Personen mit 1 rem.

Weitere Quelle: Schmitz-Feuerhake, I., u. a., Abschätzung zum somatischen Strahlenrisiko und die Empfehlungen der ICRP-Publikation Nr. 26 (1977), in: Fortschritte Röntgenstrahlen 131, 1979, S. 84 ff.

bombenüberlebenden. da diese als größtes und längstens untersuchtes Kollektiv eine Schlüsselrolle spielen.

Die großen Unterschiede der Zahlenangaben in Tabelle 1 sollten nicht als Hinweis auf die Unsicherheiten in diesem Bereich gesehen werden, sondern als Ausdruck für die Schwierigkeiten bei der Durchsetzung verbesserter Erkenntnisse. Seit Erscheinen der Empfehlung Nr. 26 der ICRP 1977 haben Kritiker die dort angegebenen Risikofaktoren als Unterschätzungen angeprangert. Bei der Erstellung des Reports der amerikanischen Akademie der Wissenschaften (vgl. Tabelle 1) kam es zur Ausbootung des Komiteevorsitzenden Radford, um das linear-quadratische Dosiswirkungmodell und damit verminderte Risikoangaben durchzusetzen¹²⁾. Radford führte daraufhin eigene Analysen an den japanischen Atombombenüberlebenden durch (vgl. Tabelle 1).

Seit 1980 ist bekannt, daß für Hiroshima und Nagasaki eine Berichtigung der dort ermittelten Dosen notwendig wurde, wonach die Wirkungen locker ionisierender Strahlung stärker sind als vorher angenommen. Die neuesten Abschätzungen des damit befaßten japa-

Tabelle 1
Krebstote nach Ganzkörperbestrahlung in Angaben
verschiedener Gremien und Autoren

Autoren	Krebstote pro Million Personen pro rem	Dosiswirkungmodell
Int. Strahlenschutzkommission ICRP 1977	100	linear-quadratisch
BEIR III-Report 1980 ¹¹⁾ (Akad. der Wiss. USA)	158- 501 67- 226	linear lin.-quadr.
Radford 1980 ²⁾	M 220- 880 F 550-1620	linear
Bertell 1984 ³⁾	M 380-1200 F 720-2100	linear
Forschungsinstitut Hiroshima 1987 ⁴⁾	580-1160	Abenkung geg. linear
Brit. Strahlenschutz-Kommission Nov. 1987 ⁵⁾	300	

M = Männer, F = Frauen

Quellen: 1) *Committee on the Effects of Ionizing Radiation, The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Radiation*, National Academy of Sciences, Washington 1980. - 2) *Radford, E. P., Human health effects of low doses of ionizing radiation: the BEIR III controversy*, in: *Radiation Research* 84, S. 369 ff. - 3) *Bertell, R., Handbook for Estimating Health Effects from Exposure to Ionizing Radiation*, Institute of Concern for Public Health, Toronto 1984. - 4) *Preston, D. L., D. A. Pierce, The Effects of Changes in Dosimetry on Cancer Mortality Risk Estimates in the Atomic Bomb Survivors*, Radiation Effects Research Foundation, Technical Report RERF TR 9-87, Hiroshima 1987. - 5) *National Radiological Protection BOARD, Interim Guidance on the Implications of Recent Revisions of Risk Estimates and the ICRP 1987 Como Statement*, NRPB-GS9, Chilton, Didcot, Oxon OX11 0RO, Nov. 1987.

nisch-amerikanischen Forschungsinstituts (vgl. Tabelle 1) liegen sehr viel höher als vorher. Der Grund liegt nicht nur in der Dosimetrie, sondern auch im weiteren Anstieg der Schäden mit zunehmender Beobachtungszeit.

Trotz zunehmenden Drucks hat die ICRP auf ihrer Septemberkonferenz 1987 in Como weder Konsequenzen für ihre Grenzwertempfehlungen gezogen noch die drastische Erhöhung des Risikofaktors anerkannt. Die englische Strahlenschutzkommission hat es daraufhin als notwendig angesehen (vgl. Tabelle 1), in vorsichtigem Einlenken auf die neuen Erkenntnisse eine Senkung des Grenzwerts für Beschäftigte auf 1/3 zu empfehlen (1,5 rem pro Jahr). In der BRD sind derartige Tendenzen bei offiziellen Gremien (noch?) nicht erkennbar. Jedoch benutzt die Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung München, eine führende Institution für Strahlenschutzfragen, Risikofaktoren von 50 - 500 Krebstoten pro 1 Million Personen pro rem, das ist an der oberen Grenze immerhin eine Verfünffachung gegenüber früher¹³⁾. In einer gerade veröffentlichten Pressemeldung gibt die GSF 300 - 500 Krebstote pro 1 Million Personen pro rem an.

¹²⁾ *Committee on the Effects of Ionizing Radiation, The Effects...*, u. a. O., S. 227 ff.

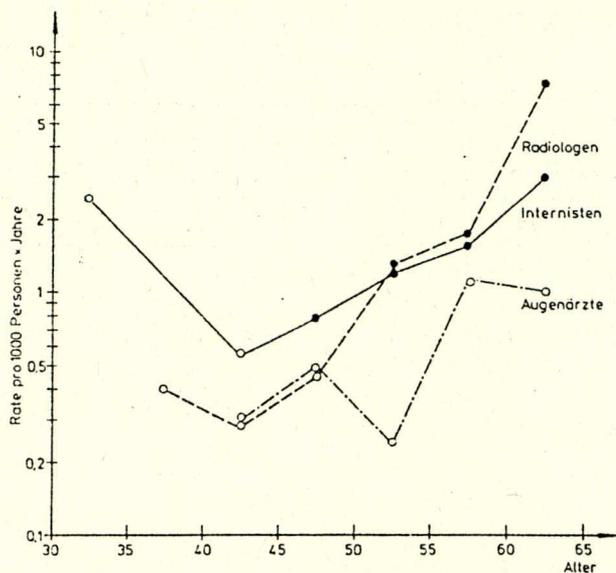
¹³⁾ *Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung, Bericht des Instituts für Strahlenschutz, Umweltradioaktivität und Strahlenexposition in Südbayern durch den Tschernobyl-Unfall*, GSF-Bericht 16/1986, München 1986.

Realistischerweise muß nach dem vorangesagten von einer Krebsodwahrscheinlichkeit von etwa 1 000 pro Million Personen pro rem ausgegangen werden, dem zehnfachen des ICRP-Faktors, oder als Individualrisiko ausgedrückt: eine Bestrahlung mit 1 rem bedeutet eine Wahrscheinlichkeit von 1 zu 1 000, dadurch einen Krebsod zu erleiden. Die Summe aller Einzeldosen in einem bestrahlten Kollektiv bezeichnet man als Personenrem, so daß die letzteren Aussagen auch bedeuten, daß auf 1 000 Personenrem 1 Krebsod kommt.

4. Dichtung und Wahrheit über Gesundheitsschäden bei beruflich Strahlenexponierten

Es gibt nach dem vorangehenden – entgegen aller Propaganda – keinen Grund zu erwarten, daß heutzutage bei bestimmungsgemäßem Betrieb für beruflich exponierte Personen keine zusätzlichen Krebsfälle zu befürchten sind. Die letzte bekanntgewordene Untersuchung an Röntgenärzten aus den USA stammt von *Matanoski* und Mitarbeitern 1975 (Abb. 6). Sie untersuchten die Krebssterblichkeit bei Ärzten, die zwischen 1940–49 in amerikanische medizinische Gesellschaften eintraten. Zu dieser Zeit betrug der Dosisgrenzwert 15 rem pro Jahr und wurde dann auf 5 rem gesenkt. In der Altersgruppe von 60 – 65 Jahre liegt die Krebssterblichkeit der Röntgenärzte 2,5 mal so hoch wie die von Internisten und 8 mal höher als bei Augenärzten. Eine britische Studie über Röntgenärzte von *Smith* und *Doll* von

Abbildung 6
Krebssterblichkeit bei Ärzten, die in den Jahren 1940 bis 1949 in verschiedene US-amerikanische Ärztegesellschaften eintraten



o Rate, die sich aus weniger als 5 Fällen ergab.

Quelle: *Matanoski, M., u. a., The current mortality rates of radiologists and other physician specialists: specific causes of death, in: American Journal of Epidemiology 101, 1975, S. 199 ff.*

1981¹⁴⁾ zeigt nur eine geringfügige Erhöhung der Gesamtkrebsrate und einen Anstieg der Leukämien um 50 vH. Dies hält man für unerheblich, weil die Autoren annehmen, daß dieses Kollektiv sehr hohe Dosen erhielt. Angaben über die wirklich erhaltenen Dosen liegen jedoch nicht vor. Eine japanische Untersuchung von 1983¹⁵⁾ und eine chinesische von 1984¹⁶⁾ ergaben deutlich erhöhte Krebsraten bei Röntgentechnikern. Die mittlere Dosis bei den 27 000 chinesischen Technikern wurde zu 4,5 rem abgeschätzt.

Im Gegensatz dazu geben *Jablon* und *Miller* in einer Arbeit von 1978 an¹⁷⁾, daß beim Militär des zweiten Weltkriegs eingesetzte Röntgentechniker keine erhöhten Krebsode zeigten. Jedoch werden 12 Leukämiefälle in der bestrahlten Gruppe gegenüber 7 in der gleich großen Kontrolle gefunden und ansonsten eine Gesamtkrebssterblichkeit von nur 2 vH. Letzteres führt zu der Schlußfolgerung, daß die untersuchte Gruppe im Untersuchungszeitraum noch relativ jung gewesen sein muß – die Altersdaten werden nicht angegeben – d. h. die möglicherweise noch auftretenden Krebsfälle wurden nicht abgewartet. Deshalb gewinnt man den Eindruck, daß diese Arbeit lediglich der Beschwichtigung dienen sollte.

Ähnliche Probleme ergeben sich in Zusammenhang mit Untersuchungen über Beschäftigte in kerntechnischen Anlagen. Befunde von *Mancuso, Stewart* und *Kneale*¹⁸⁾ über die Beschäftigten in Hanford, einer Plutonium-Anlage, in der ein sehr hohes Krebsrisiko abgeleitet wurde, riefen eine lange Reihe von Gegendarstellungen hervor, in denen der Strahleneffekt geleugnet wurde, obwohl eine gewisse Erhöhung von Krebsfällen nicht zu leugnen war. Ähnliche Versuche, einen Zusammenhang zwischen Spätschäden und beruflicher Strahlenexposition auszuschließen, wurden infolge der Arbeit von *Najarian* und *Colton* von Wissenschaftlern staatlicher Forschungsinstitute in den USA unternommen, nachdem erhöhte Krebsraten bei Arbeitern in Werften mit Atom-U-Bootreparaturen gefunden worden waren.

Kuni und *Blum* haben sich im Rahmen der vom DGB veranlaßten Untersuchung „Arbeitsbedingungen in nuklearen Wiederaufarbeitungsanlagen“ mit noch wei-

¹⁴⁾ *Smith, P.G., R. Doll, Mortality from cancer and all causes among British radiologists, in: British Journal of Radiology 54/1981, S. 187 ff.*

¹⁵⁾ *Aoyama, T. u. a., Mortality study of Japanese radiological technologists, in: International Atomic Energy Agency, Biological Effects of Low-Level Radiation, Wien 1983, S. 319 ff.*

¹⁶⁾ *Wang Jixian u. a., Survey of radiation doses and health effects in medical diagnostic X-ray workers in China, in: Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection 4, 1984, S. 1 ff.*

¹⁷⁾ *Jablon, S., R.W. Miller, Army technologists: 29-year follow up for cause of death, in: Radiology 126, 1978, S. 677 ff.*

¹⁸⁾ *Mancuso, T.F. u. a., Radiation exposures of Hanford workers dying from cancer and other causes, in: Health Physics 33, 1977, S. 369 ff.*

eren amerikanischen Erhebungen an Beschäftigten in Nuklearanlagen auseinandergesetzt¹⁹⁾). Sie kommen zu dem Schluß, daß bei beruflich Strahlenexponierten eine nicht zu akzeptierende Gefährdung durch diese Tätigkeit besteht, und fordern eine drastische Senkung der Dosisgrenzwerte.

5. Quantitative Verteilung von Strahlenbelastungen

Mit dem 10fachen ICRP-Risikofaktor betrachtet, ist die natürliche Strahlenbelastung (5 rem in 50 Jahren ohne Lunge) bei uns für etwa 0,5 vH an Krebssterblichkeit verantwortlich, ohne Lungenkrebs durch Radon. Die medizinische Strahlenbelastung liefert etwa den gleichen Beitrag. 1 vH absolute Krebssterblichkeit bedeuten, daß ca. 5 vH der derzeit vorkommenden Krebstode strahlenbedingt sind. Hinzu kommen ca. 10 vH des vorkommenden Lungenkrebses durch Radon in der Atemluft. Die medizinische Strahlenbelastung liefert damit den derzeit größten Beitrag künstlich erzeugten Strahlenkrebses.

Dies bleibt auch richtig, wenn man der stereotypen Behauptung der Bundesregierung nicht glaubt, die jährliche Dosis durch den Betrieb von Atomkraftwerken sei kleiner als 1 Tausendstel rem (= 1 mrem). Diese Angabe beruht auf Modellrechnungen, deren Korrektheit im Detail nicht belegbar ist.

Es ist einsichtig und von Regierungsstellen kaum noch bestritten, daß Umweltverseuchungen durch Nuklearanlagen in den USA und Großbritannien zu erhöhten Krebsraten in der Bevölkerung geführt haben. Ähnliche Erscheinungen sind von Umweltschützern in der BRD nicht nachgewiesen worden. Der Verdacht, daß in

der Umgebung des Atomkraftwerks Lingen eine erhöhte Kindersterblichkeit an Leukämie aufgetreten sei, wurde indessen durch den Niedersächsischen Sozialminister entgegen seiner Behauptung nicht widerlegt²⁰⁾.

Die Folgedosis durch die Reaktorkatastrophe von Tschernobyl wird bei uns zu etwa 0,2 rem abgeschätzt²¹⁾. Das bedeutet langfristig ca. 13 000 zusätzliche Krebstode in der BRD. Etwas höher muß man die Wirkungen der oberirdischen Atomwaffentests bis 1963, als das Teststoppabkommen geschlossen wurde, in unserer Region einschätzen, da damals etwa gleich viel Cäsium-137, aber erheblich mehr Strontium-90 bei uns niederging²²⁾.

Die Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen beträgt in der BRD ungefähr 100 000, davon ca. die Hälfte im medizinischen Bereich. Die von ihnen erhaltene Dosis wird monatlich mit Hilfe von Filmdosimetern gemessen und amtlich registriert. Tabelle 2 macht die Berufs- und Tätigkeitsstruktur der beruflich Strahlenexponierten und deren relative Belastung deutlich. Bei Ausnutzung des zulässigen Jahressgrenzwerts könnte ein Arbeitnehmer in 40 Berufsjahren eine Dosis von 200

¹⁹⁾ Kuni, H. u. a., Bericht zum BMFT-Projekt KWA 3 300 A7 Arbeitsbedingungen in nuklearen Wiederaufarbeitungsanlagen. Projektabschnitt II Medizin, Teil 3, Aufgaben der medizinischen Betreuung. Marburg 1985.

²⁰⁾ Schmitz-Feuerhake, I., Das Strahlenrisiko. Universität Bremen. Information zu Energie und Umwelt Teil A Nr. 13, 1981.

²¹⁾ Fischer, H. u. a., Die Auswirkungen des Reaktorunfalls von Tschernobyl in der Region Bremen, Universität Bremen. Information zu Energie und Umwelt Teil A Nr. 24, 1986. – Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung, Bericht des Instituts für Strahlenschutz, Umweltradioaktivität und Strahlenexposition in Südbayern durch den Tschernobyl-Unfall, GSF-Bericht 16/86, München 1986.

²²⁾ Fischer, H. u. a., Die Auswirkungen . . . , a. a. O.

Tabelle 2

Amtlich ermittelte Ganzkörper-Personendosen¹⁾ im Jahr 1986

Tätigkeitsbereich	Anzahl der überwachten Personen	Kollektivdosis	mittlere Dosis pro Person ²⁾	Häufigkeitsverteilung (D = Dosis)				
				D = 0	0 < D ≤ 5	5 < D ≤ 25	25 < D ≤ 50	D > 50
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Arztpraxis	14 893	2 057,5	0,14	12 746	2 104	42	1	0
Zahnarztpraxis	2 030	140,8	0,07	1 938	89	2	0	1
Krankenhaus, Kliniken o. ä.	30 586	4 439,7	0,15	25 511	4 999	74	1	1
Sonstige med. Einrichtung	1 015	37,2	0,04	957	56	2	0	0
Forschung und Lehre	2 612	44,8	0,02	2 577	34	1	0	0
Werkstoffprüfung	2 486	5 552,3	2,23	1 390	743	325	27	1
KKW (Instandhaltung)	2 795	4 694,6	1,68	1 654	860	264	17	0
staatl. Aufsicht, Überwachung	182	52,9	0,29	142	38	2	0	0
Sonstiges	1 293	153,0	0,12	1 205	85	3	0	0
Summe	57 892	17 172,8	0,29	48 120	9 008	715	46	3

1) Nach § 63 der Strahlenschutzverordnung und § 40 der Röntgenverordnung. Dosiswerte in mSv pro Jahr. Die neue Maßeinheit „Sievert“ (Sv) ersetzt in Zukunft rem. 1 Sv entspricht 100 rem.

2) Die mittlere Dosis pro Person ergibt sich jeweils als Quotient „Kollektivdosis durch Anzahl der überwachten Personen“. Zum Vergleich: Der Dosisgrenzwert beträgt 50 mSv (5 rem) pro Person und Jahr.

Quelle: Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft (NRW), Ministerium für Arbeit, und Soziales (NRW), Jahresbericht 1986 der Gewerbeaufsicht des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 1987, S. 61.

rem erhalten, dies bedeutet eine zusätzliche Krebsdosiswahrscheinlichkeit von 20 vH und verdoppelt somit sein „Spontan“-Risiko, an Krebs zu sterben. Die ICRP rechtfertigt den Dosisgrenzwert damit, daß er im allgemeinen nicht ausgenutzt wird, und im Mittel wesentlich geringere Jahresdosen erreicht werden.

Da Arbeitgeber u. U. dazu neigen, recht viele Arbeitnehmer aus so gut wie nicht exponierten Arbeitsbereichen zur monatlichen Überwachung hinzuzuziehen, um den Mittelwert zu senken, werden neuerdings die Gruppe der quasi Nicht-Bestrahlten und die der Bestrahlten – d. h. die Dosimeter haben oberhalb der Ansprechschwelle, die bei 10 mrem liegen soll, etwas angezeigt – getrennt betrachtet. 1984 haben in der zusammengefaßten Untersuchung über die Länder Bayern, Hessen und Schleswig-Holstein²³⁾ 13 vH der beruflich Exponierten oberhalb der Ansprechschwelle gelegen, und eine mittlere Dosis ergab 35 mrem. Diese würde bei 100 000 Beschäftigten 3 500 Personenrem bedeuten und damit, ausgehend vom Jahr 1984 3,5 zusätzliche Krebstote bedeuten.

Diese zunächst vielleicht nicht übermäßig beunruhigenden Ergebnisse sind unter zwei Gesichtspunkten zu diskutieren:

(1) Mit dem Hinweis auf einen Mittelwert ist dem einzelnen betroffenen Arbeitnehmer nicht gedient, der aufgrund spezifischer Arbeitsplatzbedingungen typischerweise höher belastet wird. Die Dosen sind durchaus nicht gleichverteilt und variieren nicht in zufälliger Weise über alle Beschäftigten. Z. B. zeigen sich im medizinischen Bereich unterschiedliche Dosisverteilungen bei Röntgenärzten und Nuklearmedizinern (vgl. Abb. 7). Letztere arbeiten mit radioaktiven Stoffen für diagnostische Zwecke. Sie sind nach *Drexler, G. u. a.*²⁴⁾ ca. doppelt so hoch belastet wie Röntgenärzte, und inner-

halb ihres Bereichs liegen die meisten Dosen nicht am unteren Ende, sondern höher.

Weitere Risikogruppen in der Medizin, d. h. besonders hoch belastet, sind die Krankenschwestern und das übrige Personal, die Patientinnen mit Radiumeinlagen zur Therapie bösartiger gynäkologischer Erkrankungen betreuen, außerdem Ärzte und Assistentinnen, die sich dicht beim Patienten aufhalten müssen, während eine Untersuchung oder Operation unter Röntgendurchleuchtung erfolgt (z. B. Kontrasteinläufe durchführen oder Säuglinge festhalten).

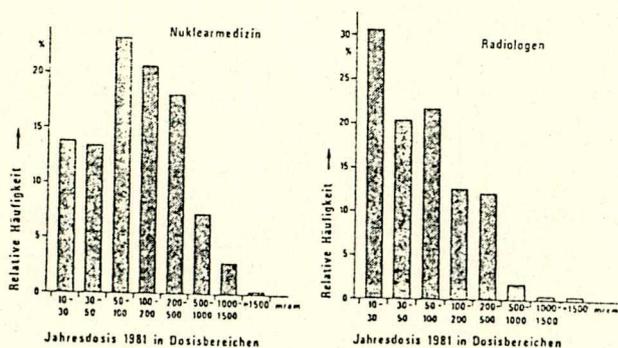
Häufigkeitsverteilungen wie in Abb. 7 gibt es auch beim Personal in Atomkraftwerken²⁵⁾. Hier treten höhere Belastungen typischerweise bei Revisions- (Gesamtüberholung des kerntechnischen Teils) und bestimmten Reparaturarbeiten auf.

(2) Das schon erwähnte Gutachten „Arbeitsbedingungen in nuklearen Wiederaufarbeitungsanlagen“ hat aufgedeckt, daß die amtliche Filmdosimetrie zu grotesken Unterschätzungen der wahren Dosis am Arbeitsplatz führt. Durch Vergleiche mit bekannten Strahlenfeldern und anderen Dosimetern ergab sich in der Untersuchung durch Physiker der Universität Gießen, daß die eingesetzten Filmdosimeter bis zu 20 mrem gar nichts anzeigten, von 20 – 49 mrem nur in 75 vH der Fälle und zwischen 50 – 100 mrem nur in 50 vH. Das bedeutet, daß Jahresdosen bis 1 rem unter den Tisch fallen können. Die ICRP ist aber bei der Empfehlung des Grenzwerts davon ausgegangen, daß im Mittel nicht mehr als 0,5 rem pro Jahr erhalten werden. Wie man sieht, kann dieses bislang keineswegs garantiert werden.

Auch bei höheren Dosen wurden erhebliche Fehlmessungen festgestellt, immer im Sinne von Unterschätzungen der wahren Dosis. Dieses tritt hinzu zum an sich bekannten Problem, daß der Beitrag einer Neutronenbestrahlung und von im Körper aufgenommenen radioaktiven Stoffen nicht richtig erfaßt wird.

Die Bedeutung dieser Fehlüberwachung für das Entstehen von Spätschäden ist zur Zeit schwer zu quantifizieren. Eigene Analysen von Arbeiten über Chromosomenstörungen bei deutschen beruflich Exponierten²⁶⁾ haben ergeben, daß Beschäftigte in Nuklearanlagen eine etwa 3 mal so hohe Dosis erhalten haben als die Filmdosimetrie angibt. Dieses war eine Stichprobe, deren Aussagekraft durch weitere Untersuchungen zu überprüfen wäre. Wenn man den Faktor 3 als Unterschätzung ein-

Abbildung 7
Häufigkeitsverteilung der Jahresdosiswerte für Nuklearmediziner und Radiologen



Quelle: Eckerl, H., Drexler, G., Ergebnisse der Personendosimetrie und deren Interpretation, in: Strahlenschutz in Forschung und Praxis XXIV, 1982, S. 174 ff.

²³⁾ *Drexler, G. u. a.*, Statistische Ergebnisse aus der amtlichen Personendosisüberwachung 1984, Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung München, GSF-Bericht 25/85, 1985.

²⁴⁾ Ebenda.

²⁵⁾ *Eckerl, H., G. Drexler*, Ergebnisse der Personendosimetrie und deren Interpretation, in: Strahlenschutz in Forschung und Praxis XXIV, 1982, S. 173 ff.

²⁶⁾ *Kuni, H. u. a.*, Bericht . . . , a. a. O., Teil 3, S. 2–9.

mal annimmt, lägen wir hochgerechnet derzeit bei jährlich 10 000 Personenrem als berufliche Belastung und folglich bei 10 zusätzlichen Krebstoten, oder bei 300 Krebstoten bei gleicher Belastung für eine Arbeitnehmergeneration von 30 Jahren.

In dem Gutachten von *Kuni* und *Blum*²⁷⁾, sind Fälle beschrieben, anhand derer klar wird, daß ein Arbeitnehmer im Falle eines beruflich bedingten Strahlenschadens bislang keinerlei Aussicht auf Entschädigung hat, sofern nicht eine ausdrückliche Unfallsituation mit Überexposition nachgewiesen wird. Eine Ausnahme bildet in der BRD der Fall eines Uranprospektors, der 11 (!) Jahre gegen die Berufsgenossenschaft Bergbau klagte. Bei ihm gelang es nur mit Hilfe der biologischen Dosimetrie, die eine nachweisliche Belastung durch dicht ionisierende Strahlung erbrachte, das Sozialgericht vom Entschädigungsanspruch zu überzeugen.

6. Schlußfolgerungen

Die Gefährdung durch ionisierende Strahlung im niederen Dosisbereich wurde ursprünglich weit unterschätzt. Neuere Erkenntnisse sind schwer gegenüber den Anwenderinteressen durchzusetzen. Die Kritiker der geltenden Strahlenschutznormen haben jedoch auch durch das Bekanntwerden besonderer Ereignisse (z. B. Tschernobyl, neuerdings den vertuschten Störfall in Sellafield, früher Windscale wie auch die skandalösen Vorgänge um die Firma Transnuklear) an Einfluß ge-

wonnen, so daß auch größere gesellschaftliche Gruppierungen sich der Thematik in angemessener Weise anzunehmen beginnen²⁸⁾. Folgende Maßnahmen sind dringend erforderlich:

- (1) Aufklärung der Betroffenen über die Gesundheitsgefährdung, wie sie sich heute wissenschaftlich darstellt, und über die diesbezüglichen fremdbestimmten Kontroversen.
- (2) Senkung der Dosisgrenzwerte für beruflich strahlenexponierte Personen.
- (3) Neben der Begrenzung der individuellen Dosis auch Beschränkung der durch „zivilisatorische“ Maßnahmen erreichten Kollektivdosis. D. h. es muß auch die Anzahl der Betroffenen systematisch begrenzt werden.
- (4) Regelung mit den Berufsgenossenschaften über die Anerkennung von Entschädigungsansprüchen bei Gesundheitsschäden nach beruflicher Strahlenexposition auch innerhalb der zulässigen Dosisgrenzwerte.
- (5) Durchsetzung korrekter Dosisbestimmungen am Arbeitsplatz.
- (6) Einbeziehung der Gefährdung für strahlenexponierte Beschäftigte in die Akzeptanzdebatte um die Atomenergienutzung.

²⁷⁾ Ebenda, S. 2-15.

²⁸⁾ Vgl. hierzu den Beitrag von *Fink, U.*, Kritik und Alternativen der Strahlenschutzpolitik, in diesem Heft.

vorläufige Vortragsfassung
vom 6. Dezember 1988

© Stiftung Mittlere Technologie; Kopien o. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung.

Beispiel Strahlenrisiko: Volkswirtschaftliche Kostenoptimierung oder Risikominimierung?

von Mario Schmidt, Dipl.-Phys.

1. Einleitung

Das sogenannte Strahlenrisiko steht wie kein anderes Risiko seit Jahrzehnten im Mittelpunkt des öffentlichen Interesses. Die Erinnerung an die schrecklichen Folgen der Atombombenabwürfe über Japan führen einerseits dazu, daß das Strahlenrisiko als eine apokalyptische Gefahr eingestuft und nicht selten auch überschätzt wird. Andererseits neigen die militärischen und zivilen Anwender der Kernenergie zu einer Bagatellisierung des Strahlenrisikos. Die Diskussion nach Tschernobyl ist ein treffendes Beispiel dafür, wie diese unterschiedlichen Positionen aufeinandertreffen können.

Ich möchte das Strahlenrisiko an dieser Stelle nicht verharmlosen. Trotzdem muß - gerade im Rahmen einer solchen Reihe - festgestellt werden, daß das Strahlenrisiko - etwa durch den Fallout der Atomwaffenversuche oder durch den Normalbetrieb von Kernkraftwerken - derzeit nicht das größte Umweltrisiko in unserer Industriegesellschaft darstellt. Ich persönlich halte die Gefahren des Straßenverkehrs, aber auch die Freisetzung anderer Umwelttoxine, etwa chlorierter Kohlenwasserstoffe, zahlenmäßig für bedeutender.

Warum dann also überhaupt über dieses Thema diskutieren ?

Zum einen kann sich diese Situation schlagartig ändern, z.B. nach einem neuen Kernkraftwerksunfall. Aber hierauf möchte ich nicht weiter eingehen.

Vielen von Ihnen ist vielleicht nicht bekannt, daß die gesundheitlichen Auswirkungen von Radioaktivität im Vergleich zu anderen Umweltgiften *sehr gut* bekannt sind. In kaum einem anderen Bereich läßt sich die Wirkung so gut quantifizieren, sind so viele Untersuchungen durchgeführt worden. Die trotzdem geführte Kontroverse und die vorhandene Unsicherheit bei der Abschätzung des Strahlenrisikos zeigen - so finde ich -, wie wenig wir überhaupt über unsere Umwelt bzw. über die von uns erzeugten Umweltgifte wissen.

Der große Wissensvorsprung beim Strahlenrisiko basiert dabei auf den Atombombenexplosionen in Hiroshima und Nagasaki: das Leiden von zigtausenden von Menschen ist zu einem "Glücksfall" für die Wissenschaft geworden, die Überlebenden sind bis heute ein heiß begehrtes Studienobjekt, oder wie es in der Epidemiologie heißt, "Kollektiv".

Wir Wissenschaftler können den Zynismus solcher Untersuchungen, die aus dem Schicksal einzelner Menschen Zahlen, Leukämieraten und Erwartungswerte machen, nur schwer erfassen. Als ich kürzlich über neue Erkenntnisse zum Strahlenrisiko bei den Hiroshima- und Nagasakikollektiven einen Vortrag hielt, kam eine Zuhörerinnen hinterher zu mir und meinte, sie hätte mit dem Wort "*Kollektiv*" bisher immer sehr positive Aspekte des menschlichen Zusammenlebens verknüpft. Die wissenschaftliche Anwendung dieses Begriffs auf die Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki empfand sie als schockierend.

Auch ich kann als Naturwissenschaftler nicht immer über meinen Schatten springen. Vielleicht versuche ich deshalb im Folgenden, vieles mit Zahlen und Formeln zu begründen. Das heißt jedoch nicht, daß ich diese Denkschemata, denen wir Wissenschaftler verhaftet sind, gut heiße. Im Gegenteil: ich wünschte mir mehr Selbstkritik in diesen heute so dominanten Disziplinen wie Physik, Molekularbiologie oder gar Ökonomie.

Aber ich möchte heute nicht deshalb über das Strahlenrisiko sprechen, weil wir verhältnismäßig viel darüber wissen. Das Entscheidende ist vielmehr, daß dieses Problem einen Vorbildcharakter für viele andere Bereiche von Umweltrisiken hat, sowohl hinsichtlich des wissenschaftlich-methodischen Vorgehens (etwa in der Epidemiologie) als auch hinsichtlich der Findung und Festlegung von Schutzmaßnahmen und Grenzwerten.

Mit letzterem möchte ich mich hier beschäftigen. Es kommt mir dabei letztendlich auf die prinzipiellen Erwägungen an, die sich hinter diesem Beispiel "Strahlenrisiko" verbergen.

2. Grundannahmen beim Strahlenschutz

Welche Schäden werden durch ionisierende Strahlen ausgelöst? Es handelt sich dabei im wesentlichen um

- *akute* Strahlenschäden, die bei Belastungen von mehreren 100 rem (1 rem = 10 mSv) bereits kurz nach der Exposition auftreten, und zum direkten Tod führen können,

- *somatische* Spätschäden, insbesondere Krebs, der erst viele Jahre oder Jahrzehnte nach der Exposition - auch durch kleinere Strahlendosen - auftritt,
- *genetische* Schäden, deren Auftreten sich sogar über mehrere Generationen erstrecken kann.

Im Vordergrund der folgenden Betrachtungen stehen die beiden letzten Schadensarten, weil sie auch bei geringen und mittleren Strahlenbelastungen auftreten können und damit für den praktischen Strahlenschutz, der sich überwiegend im Niedrigdosisbereich bewegt, relevant sind.

Zusammengefaßt lassen sich für diese Langzeitschäden im Niedrigdosisbereich folgende Grundsätze des Strahlenschutzes formulieren:

- Die Strahlenschäden sind stochastischer Natur. D.h. zwischen einer Exposition und einer Erkrankung läßt sich im Einzelfall i.a. kein kausaler Zusammenhang herstellen. Nur bei der statistischen Analyse großer Populationen kann ein Anstieg, z.B. der Krebshäufigkeit, festgestellt werden. Diese Situation ist damit der des Lungenkrebsrisikos durch Rauchen vergleichbar. Problematisch wird dabei natürlich der statistische Nachweis sehr kleiner Risiken. Man bräuchte hierzu sehr große Personenkollektive, um verlässliche Aussagen machen zu können. Genau hierin liegt auch die Bedeutung des Hiroshima- und Nagasakikollektivs, das etwa 90.000 Personen umfaßte.
- Für Krebs und genetische Schäden gibt es keine Schwellendosis. Das ist das Ergebnis zahlreicher Versuche. Und auch für Dosisbereiche, über die keine Erfahrungen mit gesundheitlichen Schäden am Menschen vorliegen, erscheint diese Annahme aus theoretischen Überlegungen plausibel. Schon aus Vorsorgegründen ist diese Annahme deshalb sinnvoll, solange nicht explizit das Gegenteil bewiesen wurde. Dieser Grundsatz zieht sich deshalb wie ein roter Faden durch den Strahlenschutz. Zum genetischen Risiko stellte etwa die US-amerikanische Akademie der Wissenschaften bereits 1956 fest¹: "*Jede noch so kleine Strahlendosis kann Mutationen auslösen. Es gibt keine Strahlenmenge, unterhalb der keine gefährliche Mutationen mehr möglich sind.*" Und die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) meinte in ihrer ersten Empfehlung 1958 hinsichtlich des Leukämierisikos²: "*Am vorsichtigsten wäre die Annahme, daß es keine Schwellenwertdosis...gibt.*"
- Der Zusammenhang zwischen der Dosis und der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Schäden im Niedrigdosisbereich ist *linear* (Siehe Abb.1). D.h. eine halbe Dosis führt zum halben Risiko. Für einige biologische Systeme ist diese

linear Dosiswirkungsbeziehung bestätigt worden. Möglich ist jedoch auch ein anderer Verlauf, z.B. eine *linear-quadratische* Kurve. Neuere Ergebnisse aus Hiroshima und Nagasaki sprechen eher für den linearen Verlauf. Davon unabhängig empfahl die ICRP 1977 für den Niedrigdosisbereich, von einer linearen Beziehung auszugehen³.

- Im Niedrigdosisbereich ist die Wirkung von der Dosisleistung unabhängig, d.h. sie hängt nur von der gesamten Dosis, nicht aber von dem Expositionszeitraum ab. Hieraus und aus dem Vorgenannten folgt schließlich, daß die Wirkungen proportional zu der Summe der insgesamt verabreichten Dosis ist. D.h. wir haben eine *Summationswirkung*; auch kleine Dosisleistungen können sich zu hohen Dosen und damit zu hohen Wirkungen aufaddieren.

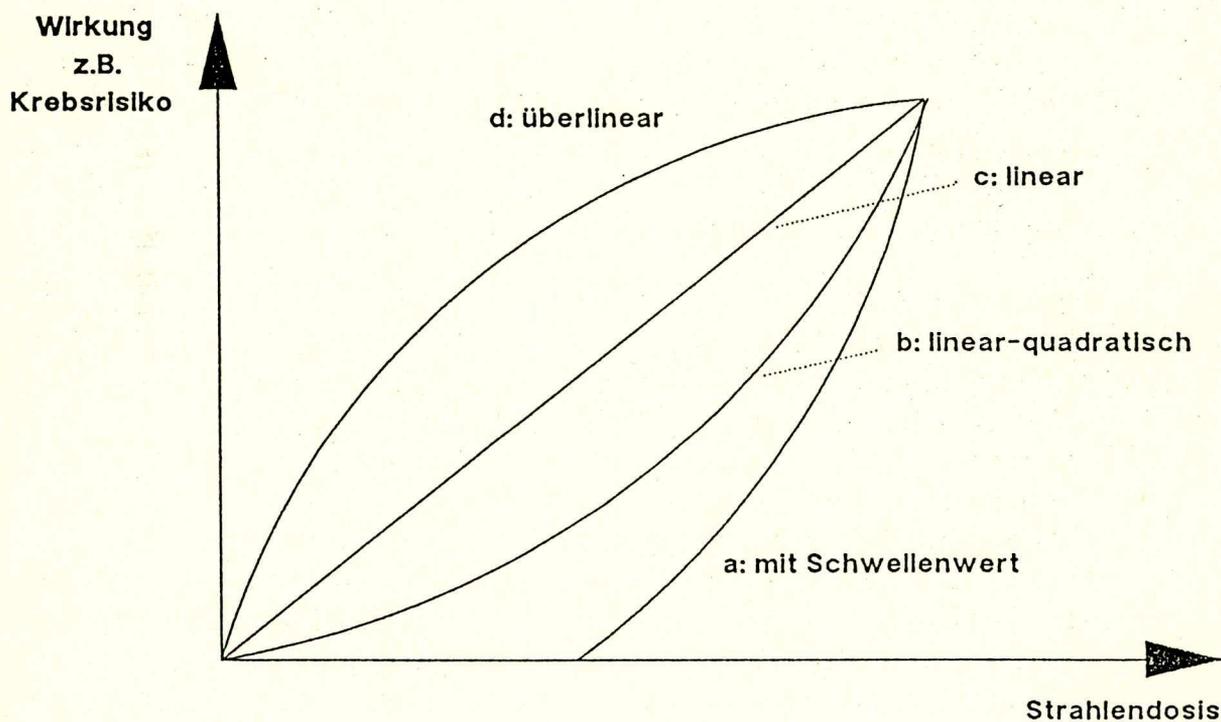


Abb.1: Der mögliche Zusammenhang zwischen der Strahlenwirkung und der Strahlendosis. (a) stellt z.B. eine Kurve mit Schwellenwert dar.

Sie werden nun Fragen: Wie kommt man im Strahlenschutz dann überhaupt zu Grenzwerten? In weiten Bereichen der Toxikologie kann man Schwellenwerte angeben. D.h. die Wissenschaftler müssen diesen Wert ermitteln, evtl. einen Sicherheitsabstand angeben und die Politik kann diese Empfehlungen dann in Grenzwerte und Richtlinien umsetzen. Was aber tun, wenn kein Schwellenwert existiert? Wissenschaftlich gesehen gibt es darauf keine Antwort. Man könnte nur eine *Nullbelastung* oder aber eine *Minimierung* der Belastung fordern. Will man trotzdem einen Grenzwert angeben, so muß die - nicht naturwissenschaftliche - Frage geklärt werden: Welche Wirkung, welches Risiko sind noch akzeptabel?

Die Ableitung von Grenzwerten möchte ich an zwei Beispielen aus der bundesdeutschen Strahlenschutzverordnung behandeln. In § 49 ist zum einen ein Grenzwert für Beschäftigte in kerntechnischen Anlagen etc. von 5 rem/a (50 mSv/a) festgelegt. Dieser Grenzwert gilt auch in vielen anderen Ländern. Der Grenzwert für die Allgemeinbevölkerung, etwa durch den Normalbetrieb eines Kernkraftwerkes belastet zu werden, ist in § 45 festgesetzt und liegt bei jeweils 30 mrem/a (0,3 mSv/a) über die Abluft bzw. das Abwasser. Man spricht in diesem Zusammenhang auch häufig vom *30 mrem-Konzept*.

3. Die Begründung des beruflichen Strahlengrenzwertes

Der berufliche Grenzwert von 5 rem/a basiert auf einer Empfehlung der ICRP zuletzt von 1977⁴. Die ICRP führte dazu eine Risikoabschätzung durch: sie hielt es für sinnvoll, das berufliche Strahlenrisiko mit dem Risiko für andere Berufe zu vergleichen, die einen "hohen" Sicherheitsgrad aufweisen. Dazu zählt die ICRP solche Berufe, bei denen die mittlere jährliche Sterblichkeit infolge beruflicher Gefahren max. 100 Fälle pro Mio. Personen (d.h. 10^{-4}) beträgt. Hierzu wurden Unfallstatistiken von Anfang der 70er Jahre aus den USA und Europa herangezogen⁵. Eine Auswahl von Unfallzahlen für die Bundesrepublik Deutschland ist in Tab. 1 zu sehen.

Allerdings verglich die ICRP nicht einfach nur die Unfalltoten dieser Industriezweige mit den statistisch zu erwartenden Strahlenkrebstoten in der Kernindustrie. Verglichen wurden vielmehr die *"verlorenen Lebensjahre"*. Das Durchschnittsalter bei tödlichen Berufsunfällen liegt bei rund 40 Jahren und entspricht somit einem Verlust von durchschnittlich 30 Lebensjahren. Bei der Kernindustrie geht die ICRP von einem durchschnittlichen Alter bei der Strahlenexposition von 42 Jahren aus. Insofern sind beide Fälle vergleichbar. Allerdings wird nun angenommen, daß die tödliche Krebserkrankung erst mit einer Verzögerung - nämlich einer Latenzzeit von 23 Jahren - auftritt. Pro Krebsfall infolge beruflicher Strahlenexposition gehen also nur etwa 10-15 Lebensjahre verloren, weniger als bei den tödlichen Berufsunfällen

in anderen Industrien. 2,5 Strahlenkrebstote entsprechen somit einem Unfalltoten in anderen Industriebranchen.

Tab.2: Tod durch Arbeitsunfälle in der Bundesrepublik Deutschland 1970-1982 (nach Blum 1986) ohne Wegunfälle

Wirtschaftszweig	tödl. Arbeitsunfälle pro Mio. Pers. u. Jahr		
	1970	1980	1982
Bergbau	590	470	360
Eisen u. Metall	110	90	70
Chemie	100	70	50
Handel, Geld- u. Versicherungswesen	90	50	40

Man erkennt nun das Problem: durch den Vergleich der verlorenen Lebensjahre und nicht der absoluten Anzahl von Todesfällen schneidet die Kernindustrie um einen Faktor 2,5 besser ab. Die Orientierung an den verlorenen Lebensjahren erscheint dabei nur vordergründig plausibel. Natürlich leben wir in einer Gesellschaft, in der die Jugend einen hohen Wert besitzt. Aber ist deshalb ein 20jähriger mehr wert als ein 60jähriger? Werden in Verkehrsunfallstatistiken verunglückte Vorschulkinder 10fach gerechnet gegenüber verunglückten Rentnern?

Der Ansatz der ICRP ist verlockend, widerspricht meiner Meinung nach jedoch dem Grundgesetz. Dort heißt es in Artikel 2 "*Jeder hat das Recht auf Leben und körperliche Unversehrtheit*" und in Artikel 3 "*Alle Menschen sind vor dem Gesetz gleich.*" Von einer alterabhängigen Wichtung des Wertes menschlichen Lebens wird nicht gesprochen. Genau das wird jedoch gemacht zur Festlegung von beruflichen Strahlengrenzwerten, die dann auch rechtlich verbindlich sind.

Das Ergebnis der ICRP-Rechnung ist, daß die Ausschöpfung des Grenzwertes von 5 rem/a vergleichbar wäre mit 340 tödlichen Arbeitsunfällen pro Mio. und Jahr; das entspricht der vergleichsweise hohen Unfallrate im deutschen Bergbau von 1982 und wäre unangemessen hoch. Aber auch hierfür hat die ICRP eine Argumentation parat: wenn ein Grenzwert von 5 rem/a gilt, dann ist die *durchschnittliche Belastung* in der Kernenergie i.a. geringer als diese 5 rem/a. Die ICRP geht davon aus, daß der Mittelwert bei einem 10tel liegt, nämlich bei etwa 0,6 rem/a. Damit wird das Risiko in der Kernindustrie plötzlich vergleichbar mit dem Wert für Handel, Geld-

und Versicherungswesen. Der Grenzwert von 5 rem/a erscheint mit Hilfe dieser Rechnung als relativ "sicher".

Warum diese Rechnungen? Warum kann der Grenzwert, wenn man eine Sicherheit wie in Banken und Versicherungen erreichen will, nicht einfach auf 0,6 rem/a festlegen? Der Grund hierfür ist, daß der Grenzwert von 5 rem/a bereits seit 1965 von der ICRP empfohlen wird⁶. Diesen Grenzwert galt es beizubehalten und im nachhinein durch den eben vorgestellten Risikovergleich zu rechtfertigen.

Neben der ethischen Fragwürdigkeit der Lebensjahrkalkulation wird diese Abschätzung heute noch in weiteren Punkten kritisiert⁷:

- Der Risikovergleich basiert auf Daten von Anfang der 70er Jahre. Seitdem sind in den meisten Branchen die Unfallziffern stark rückläufig (siehe Tab.2). Heute müßten diese Zahlen um knapp die Hälfte reduziert werden.
- Krebserkrankungen ohne tödlichen Ausgang werden von der ICRP weitgehend vernachlässigt, da nur die Zeit zwischen Diagnose und Entlassung nach einer Operation als "verlorene Lebenszeit" in den Risikovergleich miteinbezogen wurden. Da für die sehr strahlenempfindlichen Organe Schilddrüse und Brustdrüse eine Heilungsquote von 75 % bzw. 50 % angenommen wurde, resultiert daraus eine beachtliche Unterbewertung dieser nichttödlichen Erkrankungen⁸.
- Die Krebsrisikoannahmen der ICRP von 1977, daß nämlich bei einer Belastung von 1 rem von 1 Mio. Personen zusätzlich 125 Krebstote auftreten, ist aufgrund neuer Erkenntnisse aus Hiroshima und Nagasaki vermutlich um einen Faktor 4-14 zu niedrig⁹.

Die Konsequenz aus all dem müßte sein, daß der Grenzwert für berufliche Strahlenexposition erheblich nach unten korrigiert wird. Die Bundesregierung hat daraus allerdings noch keine Konsequenzen gezogen, obwohl sie die Strahlenschutzverordnung im Dezember 1988 novelliert hat. Der Grenzwert von 5 rem/a blieb dabei unangetastet.

4. Der Ursprung des 30 mrem-Konzeptes

Daß der Grenzwert für die Allgemeinbevölkerung wesentlich kleiner sein muß als der berufliche Grenzwert, liegt auf der Hand: hier werden auch sogenannte Risikogruppen exponiert, also Menschen, die als besonders strahlensensibel anzusehen sind, wie z.B. Kleinkinder. Das 30-mrem-Konzept der Bundesrepublik Deutschland

wird von etablierten Strahlenschutzkreisen dabei stets als ausgesprochen streng und international vorbildlich dargestellt.

Die Frage, wie diese 30 mrem einst zustande gekommen sind, ist seit jüngster Zeit von großer Bedeutung. Bei der schon erwähnten Neubewertung des Strahlenkrebsrisikos in Hiroshima und Nagasaki durch die Radiation Effects Research Foundation zeichnete sich 1987 ab, daß die ICRP das Krebsrisiko um einen Faktor 4-14 unterschätzt hat. Von verschiedener Seite wurde damit der Ruf laut nach einer entsprechenden Reduktion der Dosisgrenzwerte. Während eine solche Reduktion bei dem *beruflichen* Grenzwert aufgrund des oben geschilderten Risikovergleichs auch nach der Denkart der ICRP folgerichtig wäre, wird eine Verschärfung des 30 mrem-Konzepts von offizieller deutscher Seite strikt abgelehnt.

So wies Alexander Kaul, Direktor des Instituts für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes und Mitglied der Strahlenschutzkommission (SSK) im August 1988 darauf hin, daß das 30 mrem-Konzept in Anlehnung an den *Schwankungsbereich der natürlichen Strahlenexposition* aufgestellt wurde¹⁰. Der Bevölkerung wird sozusagen das an anthropogener Strahlenbelastung zugemutet, was auch natürlicherseits durch Ortsveränderung auftreten kann. Auf die Orientierung an der *natürlichen Schwankungsbreite* wurde in der Vergangenheit auch schon an anderer Stelle hingewiesen, etwa durch Wolfgang Jacobi, SSK- und ICRP-Mitglied¹¹. Eine Verringerung der 30 mrem erscheint in dieser Logik - selbst wenn neue Erkenntnisse über die Wirkung vorliegen - nicht notwendig.

Ich halte diese Argumentation für eine Legendenbildung, die einzig und allein dem Zweck dient, einmal gesetzte Grenzwerte aus Rücksicht auf die Genehmigungspraxis von kerntechnischen Anlagen nicht neusten wissenschaftlichen Erkenntnissen anpassen und damit senken zu müssen. Ich möchte im folgenden zeigen, daß diese 30 mrem keineswegs der natürlichen Schwankungsbreite entsprungen sind, sondern teilweise sogar auf die zivile Nutzung der Kernenergie maßgeschneidert wurden. Und: die 30 mrem können nicht als der Weisheit letzter Schluß angesehen werden.

Das 30 mrem-Konzept wurde 1976 in der neuen Strahlenschutzverordnung verankert. Zuvor wurde es bereits 1974 als Sicherheitskriterium 2.3 in die Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke durch den Länderausschuß für Atomkernenergie aufgenommen¹². Erstmals genannt wurde das 30 mrem-Konzept in einer Empfehlung der Fachkommission IV "Strahlenschutz und Sicherheit" der Deutschen Atomkommission vom 13. Oktober 1969. Darin heißt es¹³:

"Die Fachkommission diskutiert die Frage der genetisch wirksamen Strahlenbelastung. Eine Aufteilung der von der ICRP angegebenen zulässigen genetischen Dosis von 5 rem/30 Jahren zu je 1/3 auf die Bereiche Medizin, Kerntechnik und sonstige künstliche

Strahlenbelastungen (z.B. Fallout) führe zu einem Richtwert von etwa 2 rem in 30 Jahren für die Kerntechnik. Etwa entsprechend den Bedürfnissen der Kerntechnik könnte eine weitere Unterteilung vorgenommen werden, bei der 1 rem in 30 Jahren auf radioaktive Stoffe in der Luft, 0,3 rem in 30 Jahren auf radioaktive Stoffe in Wasser, 0,3 rem in 30 Jahren auf radioaktive Stoffe in Nahrungsmitteln und 0,3 rem in 30 Jahren auf die sonstige genetisch wirksame Strahlenbelastung durch die Kerntechnik (z.B. radioaktive Stoffe in Gebrauchsgüter und berufliche Strahlenbelastung) entfallen. Danach wäre ein Mittelwert von 30 mrem/a für die genetisch wirksame Strahlenbelastung des Menschen durch radioaktive Stoffe in der Luft aus der Sicht einer vernünftigen Bilanzierung der genetischen Strahlenbelastung anzusetzen.....Die Fachkommission "Strahlenschutz und Sicherheit" der Deutschen Atomkommission empfiehlt, die durch radioaktive Stoffe in der Abluft von Kernkraftwerken bedingte Strahlenbelastung von Personen in der Umgebung der Kernkraftwerke auf 30 mrem/a zu begrenzen."

Das heißt, die Fachkommission ging davon aus, daß die von der ICRP empfohlene zulässige genetische Dosis von 5 rem/30 Jahre zu verteilen sei. Die Aufteilung, die zu dem 30 mrem-Konzept führt, sollte dabei "sicherstellen, daß die Kerntechnik nicht die gesamte genetisch als zulässig angesehene Dosis für sich allein in Anspruch nehmen kann" (Edelhäuser 1981) XX.

Ich möchte an dieser Stelle darauf hinweisen, daß in dieser Empfehlung nicht die Rede von natürlicher Schwankungsbreite ist. Die Empfehlung orientierte sich vielmehr an der zu erwartenden "starken Zunahme von Zahl und Größe der Kernkraftwerke".

Es bleibt allerdings die Frage offen, was sich hinter der genetisch zulässigen Dosis von 5 rem/30 Jahren verbirgt. Dieser Wert hat nichts mit dem beruflichen Jahresgrenzwert von 5 rem/a zu tun. Die Fachkommission beruft sich auf die ICRP-Empfehlung von 1965. Darin wird diese genetisch zulässige Dosis für die Allgemeinbevölkerung auf 5 rem/30 Jahre festgelegt. Die ICRP wiederholt damit eine Empfehlung, die sie bereits 1958 ausgesprochen hat.

In den 50er Jahren war man aufgrund der Erfahrungen aus Hiroshima und Nagasaki und der überirdischen Atomwaffentests sehr besorgt über die möglichen Wirkungen der Strahlenexposition. Aus Tierversuchen kannte man die genetische Wirkung und aus Japan die Leukämieinduzierung durch die Atombombenexplosionen. Die Induzierung weiterer Krebserkrankungen in Hiroshima und Nagasaki konnte aufgrund der langen Latenzzeit damals noch nicht überblickt werden.

Der Schwerpunkt des Interesses lag deshalb auf der genetischen Wirkung. Die besorgte Frage war, wie sich eine Bevölkerung weiterentwickelt, wenn die natürliche

Mutationsrate durch menschliche Einflüsse erheblich vergrößert wird. Ich zitiere aus dem Bericht des wissenschaftlichen Beratungsgremiums über ionisierende Strahlung der Vereinten Nationen (UNSCEAR) von 1958¹⁴: "*Bei der Einschätzung der Gefahren, die für die Menschheit aus der Bestrahlung entstehen, hat es sich als zweckmäßig erwiesen, von einer Dosis zu sprechen, die in einer Generation so viele zusätzliche Mutationen hervorbringt wie auf natürliche Weise entstehen.*" Einen genauen Wert konnte man damals nicht angeben; UNSCEAR vermutete diese genetische Dosis allerdings zwischen 10 und 100 rem pro Generation, d.h. pro 30 Jahre.

1958 veröffentlichte dann die ICRP ihre erste Empfehlung und damit auch eine Begründung für die genetische Dosis. Diese Begründung spricht für sich selbst. Sie lautet¹⁵:

"Zu dem vorgeschlagenen Grenzwert der genetischen Dosis ist man, kurz gesagt, auf folgende Weise gekommen: Nach Schätzung verschiedener nationaler und internationaler wissenschaftlicher Körperschaften würde eine Gonadendosis von 6-10 rem pro Kopf, die von der Konzeption an bis zum Alter von 30 Jahren infolge des Einflusses aller künstlicher Strahlenquellen akkumuliert wird, für die Allgemeinheit eine beträchtliche Belastung durch genetische Schäden bedeuten. Sie kann aber als tragbar und gerechtfertigt angesehen werden im Hinblick auf die Vorteile, die erwartungsgemäß durch die Erweiterung der praktischen Anwendung der "Atomenergie" erwachsen. Gegenwärtig besteht noch eine erhebliche Unsicherheit über den Umfang der Belastung...Es ist daher im höchsten Grade wünschenswert, die Strahlenbelastung breiter Bevölkerungsgruppen so klein wie praktisch möglich zu halten, wobei in gebührender Weise die Notwendigkeit zu berücksichtigen ist, daß zusätzliche Energiequellen zur Erfüllung der Bedürfnisse der modernen Gesellschaft vorgesehen werden müssen. Eine genetische Dosis von 10 rem infolge des Einflusses aller künstlichen Strahlenquellen wird von den meisten Genetikern als das absolute Maximum angesehen, und jeder würde einen kleineren Wert vorziehen. In einigen Ländern wurde die genetische Dosis, die infolge ärztlicher Maßnahmen entsteht, auf ungefähr 4,5 rem geschätzt... Wenn man deshalb den Grenzwert der genetischen Dosis infolge des Einflusses aller künstlicher Strahlenquellen mit 6 rem ansetzt, würde der Aanteil aus allen Quellen mit Ausnahme von ärztlichen Maßnahmen in diesen Ländern auf 1,5 rem begrenzt sein. Das würde aber diesen Ländern unerträgliche Beschränkungen auferlegen. Die Kommission empfiehlt daher aus praktischen Gründen, die medizinische Strahlenbelastung gesondert zu berücksichtigen und sie so klein zu halten, wie es sich mit den Erfordernissen der modernen ärztlichen Praxis vereinbaren läßt... Auf Grund dieser Überlegungen empfiehlt die Kommission einen Grenzwert von 5 rem für die genetische Dosis, die von allen künstlichen Strahlenquellen und deren Verwendung mit Ausnahme aller ärztlichen Maßnahmen herrührt."

Mit anderen Worten: die ICRP hielt einerseits eine genetische Dosis von 6 rem/30

Jahren gerade noch für akzeptabel, andererseits suchte sie nach Spielräumen für die aufkeimende Kernindustrie. 6 rem als Grenzwert für die gesamte anthropogene Exposition der Allgemeinbevölkerung hätte zu einem zu kleinen Spielraum geführt, da die Medizin damals einen Großteil dieser Dosis bereits ausschöpfte. Deshalb wurde die medizinische Belastung kurzerhand bei diesen Überlegungen ausgeschlossen und 5 rem/30 Jahre praktisch als Spielraum für die Kernenergienutzung festgelegt.

Dieser historische Exkurs verdeutlicht eins: zwar ging man ursprünglich von der natürlichen Exposition aus, d.h. man hielt eine Verdopplung dieser Dosis aus genetischen Gründen noch für akzeptabel. Es handelte sich hierbei allerdings eher um wilde Mutmaßungen als um gesichertes Wissen über die genetische Entwicklung einer exponierten Population. Die genetisch zulässige Dosis von 5 rem/30 Jahren basierte z.T. auf diesen damals gängigen Überlegungen, orientierte sich im wesentlichen jedoch an den "*Bedürfnissen der modernen Gesellschaft*".

Bei dieser Verdopplungstheorie stand außerdem die genetische Entwicklung der Population als Ganze im Vordergrund der Überlegungen, nicht der Schutz des Einzelnen vor einem erhöhten Risiko. Aus heutiger Sicht muß insbesondere kritisiert werden, daß in diese Grenzwertfindung nicht das Risiko von strahleninduzierten Krebserkrankungen miteingeflossen ist. Dies war aus damaliger Sicht auch nicht möglich. Heute hingegen müßte eine Dosis für die Allgemeinbevölkerung auch die mögliche Krebsinduktion in angemessener Weise als individuelles Risiko berücksichtigen.

5. Das Minimierungsgebot (ALARA)

Trotzdem bleibt die Frage offen, wie soll man einen Grenzwert für eine Umwelteinwirkung festlegen, für die es vermutlich keinen Schwellenwert gibt? Was ist ein akzeptables Risiko? Die ersten Versuche der ICRP aus den 50er Jahren mit der genetisch zulässigen Dosis etc., die sich leider bis heute in unserem hartnäckig behaupten, sind aus heutiger Sicht eher enttäuschend - sie waren Hilfskonstrukte.

Darf man sich andererseits an dem natürlichen Strahlenrisiko und der natürlichen Schwankungsbreite orientieren, wie es uns prominente Mitglieder des internationalen Strahlenschutzes nahelegen? Ulrich Beck hat diese Orientierung von *zivilisatorischen* Risiken an *natürlichen* Risiken in seinem Beitrag als nicht zulässig bezeichnet. Ich schließe mich dieser Auffassung an, zumal die Menschheit schon immer bestrebt war, auch diese natürlichen Risiken (z.B. Schäden durch Naturkatastrophen) durch angemessene Maßnahmen (Dämme etc.) so weit wie möglich zu verringern und nicht einfach hinzunehmen. Auch im Bereich der natürlich verursachten Strahlenexposition gäbe es Möglichkeiten, die Belastung - wengleich nur in einem

begrenzten Maße - zu verringern (z.B. Radonbelastung in Gebäuden).

Was bleibt, ist das sogenannte *Minimierungsgebot*. Und wieder möchte ich aus der Historie des Strahlenschutzes zitieren. 1957 appellierte die National Academy of Science¹⁶ "*Halte die Dosis so niedrig wie möglich.*" Und die ICRP formulierte ihr Minimierungsgebot 1958 mit den Worten¹⁷:

"Es wird nachdrücklich betont, daß die in diesem Abschnitt empfohlenen höchstzulässigen Dosen Höchstwerte darstellen. Die Kommission empfiehlt, sämtliche Dosen so niedrig wie möglich zu halten und jede unnötige Strahlenbelastung zu vermeiden." (as low as practicable)

1965 wandelte die Kommission diese Empfehlung bereits ab¹⁸: "*Da jede Strahlenexposition ein gewisses Risiko in sich bergen kann, empfiehlt die Kommission, daß jede unnötige Strahlenexposition vermieden wird, und daß alle Dosen so niedrig gehalten werden, wie es unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und sozialer Faktoren leicht erreichbar ist.*" (*As Low As Readily Achievable*)

In ihrer letzten Empfehlung von 1977, die auch heute noch gültig ist, schreibt die ICRP¹⁹:

- "(a) *Es darf keine Tätigkeit gestattet werden, deren Einführung nicht zu einem positiven Nettonutzen führt;*
- (b) *alle Strahlenexpositionen müssen so niedrig gehalten werden, wie es unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und sozialer Faktoren vernünftigerweise erreichbar ist; (As Low As Reasonable Achievable)*
- (c) *die Äquivalentdosis von Einzelpersonen darf die von der Kommission für die jeweiligen Bedingungen empfohlenen Grenzwerte nicht überschreiten."*

Man erkennt deutlich, wie das einst strenge Minimierungsgebot (*as low as practicable*) mit den Jahren immer mehr verklausuliert wurde. Zum Schluß steht dem eigentlichen Minimierungsgebot, das auch häufig als ALARA bezeichnet wird, sogar ein Satz voran, der einen *positiven Nettonutzen* fordert.

Dies entspringt dem schon früh geäußerten Wunsch der ICRP, daß den Risiken durch zusätzliche Strahlenexpositionen ein Nutzen für die Gesellschaft durch die Anwendung der Kernenergie gegenüberstehen und diese gegeneinander abgewogen werden sollten²⁰. In den 70er Jahren konkretisierte die ICRP ihre Vorstellung von einem solchen Abwägungsprozess auch methodisch: sie schlug die Anwendung von Kosten-Nutzen-Analysen vor²¹. 1982 widmete sie sogar einen ganzen Band ihrer Publikationenreihe diesem Problem²².

6. Kosten-Nutzen-Analysen im Strahlenschutz

Die ICRP empfiehlt, den Nettonutzen eines Produktes oder einer Tätigkeit für die Gesellschaft zu optimieren. In ihrer Empfehlung von 1977 gibt sie dazu folgende Formel an:

$$B = V - (P + X + Y)$$

mit folgender Erklärung:

- B** = Bruttonutzen eines Produktes/Tätigkeit
- V** = Nettonutzen
- P** = Grundproduktionskosten
- X** = Kosten zum Erreichen eines Schutzgrades **D**
- Y** = Kosten der Schäden durch diesen Schutzgrad **D**

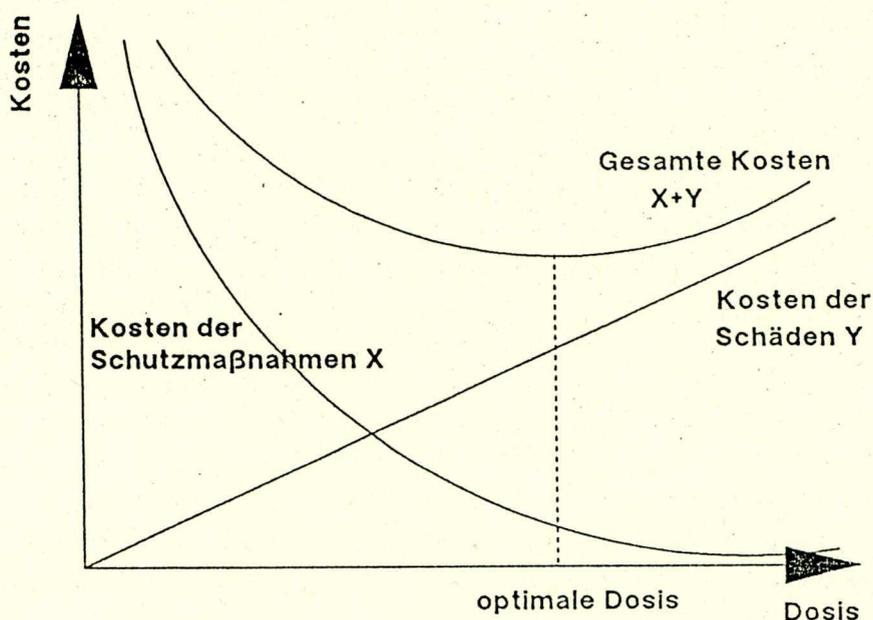


Abb.2: Der Verlauf der Kosten durch Schaden Y und durch Sicherheitsmaßnahmen X in Abhängigkeit von der erreichten Strahlendosis und die Optimierung beider Kurven

Der Nettonutzen könnten z.B. bei einem Kernkraftwerk die Einnahmen aus dem Stromverkauf sein, P wären dann die Betriebs- und Abschreibungskosten, X die Kosten für die Sicherheitssysteme und Filteranlagen, um einen bestimmten Dosisgrenzwert D einzuhalten, und Y wären die Kosten der Schäden, die durch diese verbleibende Dosis noch entstehen.

Der Bruttonutzen soll optimiert werden, indem man $X + Y$ in Abhängigkeit von der einzuhaltenden Dosis minimiert. In Abb.2 sind die Kurven für X und Y aufgetragen. Beide Kurven sind natürlich gegenläufig: Der Schaden nimmt zu mit zunehmender Strahlendosis, während die Kosten von Filteranlagen etc. stark zunehmen, je geringer die Dosis sein soll. Die Summe beider Kurven hat bei einer bestimmten Dosis ein Minimum. Dieses Minimum zeigt die *kostenoptimierte Strahlendosis* an.

Um so vorgehen zu können, muß man die Kosten jedoch in einer Einheit angeben, d.h. in \$ oder DM. Für die Kosten zum Bau einer Filteranlage mag dies einfach sein. Wie gibt man jedoch den gesundheitlichen Schaden an, der durch eine bestimmte Strahlendosis entsteht? Wir haben gesehen, daß mit steigender Dosis das Krebsrisiko zunimmt, d.h. für eine große Population können wir davon ausgehen, daß die Kurve Y gerade die Zunahme an Krebstoten widerspiegelt. (Deshalb ist sie übrigens auch linear aufgetragen.) Wie kann man die Einheit Krebstote in die monetäre Einheit \$ umrechnen? Dazu müßte man wissen, wieviel ein Krebstoter wert ist.

Für den Normalbürger mag diese Frage verwerflich erscheinen. Die Wissenschaft indessen - insbesondere die Ökonomen - beschäftigen sich schon seit langem mit dieser Frage und haben zahlreiche Antworten hierzu parat. Der Wissenschaftler Sagan vom Departement of Environmental Medicine in Palo Alto drückte dies so aus²³: "*In dieser Gesellschaft gibt es den Mythos, daß wir das Leben als unbezahlbar betrachten, und daß kein Preis zu zahlen hoch genug ist, um einen Unfall zu vermeiden.*" Und weiter: "*Unglücklicherweise werden Anstrengungen zur öffentlichen Gesundheit meistens eher von der emotional begründeten öffentlichen Einstellung gegenüber einem Problem geprägt als durch die objektive Betrachtung der realen gesellschaftlichen Kosten dieses Problems.*" Noch weiter geht Gavin Mooney, Professor für Gesundheitsökonomie in Aberdeen, der die medizinische Ethik als ineffizient bezeichnet und das Gesundheitswesen unter dem Diktat der Kosten-Nutzen-Analyse gestellt sehen will²⁴. Mooney wird übrigens auch von der ICRP in Sachen Kosten-Nutzen-Analyse zitiert.

Was also ist der Wert des Lebens? Es gibt in der Ökonomie verschiedene Ansätze dafür. Grob kann man zwischen *objektivem* und *subjektivem* Wert unterscheiden. Die objektiven Kosten sind die Kosten, die für die Gesellschaft durch den Ausfall eines Arbeitnehmers, Konsumenten etc. entstehen; in die subjektiven Kosten

fließen hingegen auch persönliche Bewertungen des Einzelnen mit ein.

Dublin & Lotka schätzten 1930 den Wert eines Menschen ab, indem sie von den Angehörigen ausgingen, die ein direktes Interesse an seinem Einkommen haben. Im Idealfall entspräche dieser Wert der Versicherungssumme einer Lebensversicherung. Der Wert läßt sich - Dublin & Lotka zufolge - berechnen als die Summe des zukünftigen Einkommens, entsprechend verzinst, minus den zukünftigen Konsumausgaben dieses Menschen; er wäre also eine Art Nettoeinkommen. 1930 wurde dieser Wert auf ca. 10.000 \$ beziffert²⁵.

Reynold untersuchte 1956 die Kosten von Straßenverkehrsunfällen in Großbritannien und berücksichtigte

- den Schaden an Vermögen (z.B. Kfz),
- die medizinischen Kosten bzw. Bestattungskosten,
- die Verwaltungskosten (z.B. für die Versicherung) und
- den Nettorückgang an "Output" von Produktion und Dienstleistungen.

Reynolds folgerte daraus durchschnittliche Kosten eines Verkehrsunfalls mit Todesfolge von 2.000 £.

Diese Orientierung am Rückgang des wirtschaftlichen "Outputs" in Form von Nettoproduktion und Nettodienstleistung ist freilich problematisch, weil ein Jugendlicher, der in das Berufsleben eintritt, den höchsten Wert hat, ein Rentner, der nichts mehr produziert, hingegen sogar einen negativen Wert haben könnte (Dawson 1971). Viele Ökonomen erkannten spätestens hier die ethische Fragwürdigkeit eines solchen Vorgehens. Um Schlimmeres zu verhindern, proklamierten sie, daß diese Rechnungen sich nur auf einen anonymen Durchschnittsbürger, auf Mortalitätsraten etc. beziehen dürften, der Preis eines individuellen menschlichen Lebens damit jedoch nicht abgeschätzt werden soll (Abraham & Thedié 1960, Schelling 1968).

Wie sieht diese Anwendung nun im Strahlenschutz aus? Sagan machte 1972 eine konkrete Rechnung für die Optimierung von Strahlenschutzmaßnahmen auf. Er ging davon aus, daß in den USA ein verlorener Produktionstag infolge einer Verletzung Kosten von ca. 50 \$ verursacht. Ein Todesfall entspräche ca. 6.000 verlorenen Arbeitstagen, wäre somit etwa 300.000 \$ wert. Sagan ging weiter davon aus, daß wenn eine Bevölkerung von 1 Mio. Personen je 1 rem Strahlendosis erhalten, also eine Kollektivdosis von 1 Mio. Personen-rem, ca. 100 zusätzliche Krebsfälle auftreten werden. Daraus folgt, daß 1 Personen-rem einen "gesundheitlichen" Schaden von 30 \$ verursacht. Diese Angabe in \$ pro Personen-rem hat sich im Strahlenschutz inzwischen eingebürgert. Die Kosten durch Gesundheitsschäden lassen sich nämlich jetzt direkt vergleichen mit den Kosten durch Schutzmaßnahmen, z.B. Filter. Sagan

demonstrierte das seinerzeit an einem Beispiel:

Die amerikanische Atomic Energy Commission (AEC), die die Reaktoremissionen genehmigt, verlangte, daß die radioaktiven Emissionen so gering wie technisch möglich gehalten werden. Nach Ansicht von Sagan wurde diese Ziel unter dem Druck der Öffentlichkeit bis jenseits ökonomischer Grenzen verfolgt, z.B. bei Brown's Ferry Plant, einem Kernkraftwerk in Tennessee mit 3 Reaktorblöcken. Dort ging es um die Emission radioaktiver Gase. Da es sich hierbei z.T. um Radionuklide mit kurzer Halbwertszeit handelt, kann man die Strahlendosis erheblich mindern, indem man die Emissionen verzögert freisetzt. Eine solche technische Einrichtung zum Verzögern stellen die sogenannten Wasserstoff-Rekombinatoren dar, die die Dosis um einen Faktor 6 reduzieren können. Eine zusätzliche Möglichkeit sind Aktivkohlefilter zur Absorption von Krypton und Xenon.

Tab.2: Kosten für Dosisverringern bei Brown's Ferry Plant (Sagan 1972)

	Reduktion der externen Dosis Pers.-rem	Kosten in \$	Kosten in \$ pro Pers.-rem	Kosten in \$ pro zu- sätzl. Pers.-rem
H ₂ -Rekombinator	3.600	6 Mio.	1.700	1.700
" + 6 Aktiv- kohlefilter	4.305	9 Mio.	2.070	4.250
" + 12 Aktiv- kohlefilter	4.350	10,5 Mio.	2.400	30.000

In Tab. 2 sind die Kosten dieser Sicherheitsmaßnahmen aufgeführt. Pro. Personenrem liegen die Kosten also zwischen 1.700 - 2.400 \$ und übersteigen damit bei weitem die Kosten durch Krebstote von 30 \$/Personenrem. Anders ausgedrückt, Krebstote rechnen sich in diesem Beispiel kostengünstiger als die Filtermaßnahmen. Genau das kritisierte Sagan an der Entscheidung der AEC, die die Verzögerungssysteme vorschrieb.

Eine heute gebräuchliche Methode, den objektiven Wert des Lebens zu bestimmen, ist, vom Bruttosozialprodukt pro Einwohner und Jahr auszugehen. Eine solche Rechnung führten Jammet & Lombard (1987) für Frankreich durch²⁶, die hier auf

die Bundesrepublik Deutschland übertragen wurde. Die Autoren gingen davon aus, daß 1 Mio. Personen-rem zu zusätzlich 125 Krebstoten führt, die jeweils etwa 15 Lebensjahre verlieren. Dazu rechneten sie einen genetischen Effekt von langfristig 80 Todesfällen mit einem Lebensverlust von jeweils 30 Jahren. Insgesamt folgt daraus, daß 230 Personen-rem einem verlorenen Lebensjahr entsprechen.

Auf dieses verlorene Lebensjahr kann nun das Bruttosozialprodukt (BRD 1987: 14.000 \$/Kopf²⁷) angewendet werden. Daraus folgt letztendlich, daß 1 Personen-rem in der Bundesrepublik Deutschland ca. 60 \$ wert ist. Das entspricht einem Wert eines strahleninduzierten Toten von ca. 300.000 \$.

Diese Rechnung - wollte man sie in dieser Weise fortführen - entspricht heute nicht mehr dem neusten Stand des Wissens. Geht man davon aus, daß das Krebsrisiko von der ICRP um einen Faktor 4-14 unterschätzt wurde, so entspräche ein Personen-rem einem Kostenansatz von 155-430 \$. Die Filter von Brown's Ferry Plant könnten damit jedoch immer noch nicht *wirtschaftlich* gerechtfertigt werden.

Bis jetzt wurden nur die objektiven Kosten eines Todesfalles betrachtet. Dabei wurde vergessen, daß diese Zahlen nicht dem subjektivem Wertempfinden eines Einzelnen entsprechen müssen. Wie schätzt der Einzelne den Wert *seines* Lebens ein, unabhängig vom Bruttosozialprodukt oder seinem zukünftigen Netto"output"?

Die Ökonomen ermitteln solche Werte mit Hilfe der sogenannten *Willingness to pay*-Methode, die inzwischen auch in anderen Umweltbereichen, etwa der Luftreinhaltung eingesetzt wurde²⁸. Anhand von Befragungen wird ermittelt, wieviel ein Mensch für einen bestimmten Sicherheitsstandard auszugeben bereit ist. Ein Beispiel: Ich will mit dem Flugzeug in Urlaub fliegen. Die Fluggesellschaft A bietet den Flug für 1.000 DM an, hat aber eine Unfallrate von 1 Absturz pro 100.000 Flügen. Die Fluggesellschaft B ist 10mal sicherer, dafür aber auch teurer. Wieviel ist mir dieses Mehr an Sicherheit wert - 50 DM, 100 DM oder 500 DM?

Aus solchen Befragungen leitete Jones-Lee 1976 einen subjektiven Wert des Lebens von ca. 3 Mio. £ ab²⁹. Man erkennt, daß das subjektive Wertempfinden mehr als eine Zehnerpotenz über dem sogenannten objektiven Wert liegt. Wobei allerdings auch dieser Wert nur von akademischen Interesse ist. Denn wer wollte schon - objektiv oder subjektiv - für 3 Mio. £ sein Leben eintauschen?

Im Strahlenschutz hat es sich eingebürgert, grob geschätzt von 1. Mio. \$ pro Krebstoter auszugehen³⁰. Aber je nach der verwendeten Methode kann dieser Wert auch höher oder niedriger liegen. Die ICRP gibt zum Beispiel einen Schwankungsbereich von umgerechnet ca. 100.000\$ - 10 Mio. \$ pro Krebstoter an³¹. Das Problem dieser ganzen Rechnerei wird damit offensichtlich: je nach Einschätzung des Wertes

menschlichen Lebens können die daraus abgeleiteten Schutzmaßnahmen oder Grenzwerte um mehrere Zehnerpotenzen schwanken. Will man einen großzügigen Grenzwert begründen, so geht man eben von geringen objektiven Kosten aus; will man einen strengen Grenzwert, befragt man am besten vermögende Akademiker nach ihrem subjektivem Wertempfinden.

Die eingangs erwähnte Frage: *Welche Strahlenwirkung oder welches Risiko erscheint uns noch als akzeptabel?* ist damit immer noch nicht beantwortet. Aber dafür wurde das Problem so verkompliziert, daß es bestimmt kein Laie mehr versteht, und der Sachverstand plötzlich in der Hand einiger ausgewählter Wissenschaftler liegt.

Aber - würden diese Wissenschaftler jetzt einwenden - das Kosten-Nutzen-Kalkül sollte nur das Minimierungsgebot praktikabel machen und zwar *unterhalb* der bestehenden Grenzwerte, wie es ja auch die ICRP in ihrer Empfehlung unter Punkt c) von 1977 (s.o.) fordert. Das Beispiel von Sagan, aber auch der Vorschlag der Weltgesundheitsorganisation nach Tschernobyl, welcher Dosisgrenzwert für die Bevölkerung kostenoptimiert wäre³², zeigen, daß Kosten-Nutzen-Analysen bereits eingesetzt werden, um vorhandene und allgemein anerkannte Sicherheitsstandards aufzuweichen. Die Kosten-Nutzen-Analyse wird damit zu einem wichtigen Instrument für die Betreiber von kerntechnischen Anlagen, die ein Interesse an *kostengünstigen* Sicherheitsvorschriften haben.

Ich möchte an dieser Stelle noch einmal das Grundgesetz zitieren. Artikel 1: *"Die Würde des Menschen ist unantastbar."* Ich persönlich halte dieses Grundrecht mit der Monetarisierung menschlichen Lebens für verletzt.

Die Anonymisierung der Kosten-Nutzen-Analyse, die von Seiten der Ökonomen als Einschränkung für diese Rechnungen angeführt wird, ist für mich hierbei kein Argument. Letztendlich bedeutet die Entscheidung für einen bestimmten Grenzwert eben doch, daß soundso viele Menschen daran sterben werden. Aber sie verschwinden in der Masse, bleiben anonym. Der Wissenschaftler der diese Rechnungen durchführt, kann sich mit Zahlen begnügen, und - ganz wesentlich - er muß diesen Menschen nicht ins Gesicht schauen. Insofern ist es nur folgerichtig, daß die Kosten-Nutzen-Analyse auf das Strahlenkrebsrisiko angewandt wird: die Anonymität der Opfer ist hier von vorneherein gewährleistet, da es sich um stochastische Schäden handelt.

Der Pragmatiker wird darauf antworten: aber wir haben eben nur begrenzte Mittel, um Menschenleben zu retten und zu schützen. Diese Mittel müssen wir eben optimal einsetzen; eine Bewertung menschlichen Lebens ist dann unvermeidlich. Niemand käme doch ernsthaft auf den Gedanken, sämtliche Fußgängerüberwege zu untertunneln, obwohl das am sichersten wäre.

Das mag irgendwo richtig sein; eine Patentlösung dazu weiß ich nicht. Aber wir vergessen eins: es gibt zivilisatorische Risiken, die wir in Kauf nehmen, um einen Komfortgewinn - noch nicht einmal einen Gewinn an Lebenssicherheit - zu haben. Hierfür werden sozusagen jährlich eine gewisse Anzahl nicht näher zu identifizierender Menschen aus unserer Reihe geopfert. Ist das legitim?

Demokratisch ist das sicherlich legitimiert, denn die Mehrheit hat sich indirekt für diese Form des Straßenverkehrs oder für die Kernenergie entschieden. Aber die wichtige Frage ist, darf eine Mehrheit das? Gibt es nicht so etwas wie einen Minderheitenschutz? Muß sie nicht auf einen gewissen Komfort oder Fortschritt verzichten, wenn sie dabei riskiert, die Grundrechte - auch nur einer kleinen Minderheit - eklatant zu verletzen? Und wenn sie es trotzdem tut aus utilitaristischen Gründen: was trennt sie dann noch von einer Gesellschaft, in der Euthanasie möglich ist?

7. Schlußfolgerungen

Was folgt aus alledem? Ich möchte mit dem Konkreten anfangen:

- Die Strahlengrenzwerte müssen im Kontext ihrer Entstehungsgeschichte gesehen und beurteilt werden. Schon allein aus dem neuen Kenntnisstand über das Strahlenrisiko ist eine deutliche Verringerung dieser Grenzwerte dringend geboten.
- Es hat sich gezeigt, daß beide hier diskutierten Grenzwerte - sowohl für Arbeitnehmer als auch für die Allgemeinbevölkerung - der Prämisse entspringen sind, daß man einen starken Ausbau der Kernenergie für notwendig hält. Heute, 30 Jahre danach, muß sich unsere Gesellschaft fragen, ob sie noch die gleichen Präferenzen setzt.
- In vielen Bereichen, in denen die Entscheidungs- und Grenzwertfindung "verwissenschaftlicht" wird, gehen z.T. Ansätze mit ein, die ethisch zumindest fragwürdig erscheinen. Hierzu zähle ich insbesondere die Monetarisierung des Lebens. Die Entscheidung, ob ein solches Vorgehen statthaft ist, kann dabei wohl kaum von den Wissenschaftlern selbst getroffen werden, sondern muß von unserer Gesellschaft als Ganzes getragen werden.

Diesen letzten Punkt möchte ich noch etwas ausführen. Ich habe hier im wesentlichen Daten und Fakten aus den Bereichen Physik, Biologie und Ökonomie vorgestellt. Das hat schwerwiegende Folgen:

Niemand wird sich wundern, daß ein Ökonom auf die Frage "*Was ist der Wert des Lebens?*" den Bleistift zückt und ihn mit Hilfe von Kosten-Nutzen-Analysen auf Heller und Pfennig berechnet. Und ein Physiker oder Biologe wird vielleicht in Formeln, Kurven und Erwartungswerten argumentieren. Das ist verständlich.

Gefährlich wird die Sache dann, wenn man diesen Wissenschaftlern auch die Entscheidung über solche Probleme überläßt. In der Tat sitzen in den Gremien wie der SSK oder der ICRP überwiegend oder sogar ausschließlich Naturwissenschaftler. Diese Naturwissenschaftler haben dann kraft ihres Amtes Grenzwerte zu empfehlen oder festzulegen, die sich *naturwissenschaftlich* gar nicht festlegen lassen. Was will man da anderes erwarten?

Nein, um solche Entscheidungen zu treffen, muß eine breite Basis in der Gesellschaft geschaffen werden. Wo sind die Theologen, die doch aufschreien müßten, wenn das Menschenleben mit 1 Mio. \$ bewertet wird? Wo sind die Soziologen, wenn es um die Frage geht, wer hat den Nutzen und wer den Schaden bei diesen Kosten-Nutzen-Rechnungen zur Kernenergie? Wo sind die Gewerkschaften, wenn das Arbeitsrisiko in der Kernindustrie mit fragwürdigen Zahlenoperationen heruntergerechnet wird? Wo sind die Väter und Mütter, wenn die Frage auftritt, welches genetische Risiko wir den nachfolgenden Generationen zumuten dürfen? Wer hat versucht, als "Nichtexperte" Mitglied in der SSK zu werden?

Wir müssen lernen, daß sich die Entscheidungen über solche Probleme nicht delegieren lassen an vermeintliche Experten. Es gibt keine *Berufsethiker* und Naturwissenschaftler und Ökonomen sind es am allerwenigsten. Deshalb ist von uns allen Mut zur Einmischung gefordert.

8. Literaturquellen

- 1 The Biological Effects of Atomic Radiation, Summary Reports from a Study by the National Academy of Science, Washington 1956, dt. Übersetzung: Bundesminister für Atomfragen, Die Biologische Wirkung ionisierender Strahlen, 1957, S.26
- 2 ICRP, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP-Publication 1, 1958, Abs. 5
- 3 ICRP, Empfehlungen der ICRP, ICRP-Veröffentlichung 26, 1977, Abs. 27 ff
- 4 ICRP 26, Abs. 96 ff
- 5 ICRP, Probleme bei der Entwicklung eines Schadensindex, ICRP-Veröffentlichung 27, 1979
- 6 ICRP, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP-Publication 9, 1965, Abs. 56

- 7 A.Blum, Die Strahlenschutzverordnung im Lichte neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse, Dissertation, Marburg, 1986
- 8 H.Kuni, Beruflich Strahlenexponierte - Neue Erkenntnisse, alter Grenzwert, in: Materialien zu Nukleares Dilemma: Strahlenschutz, Anhörung der Grünen im Bundestag am 15.9.1988
- 9 M.Schmidt, Wie gefährlich ist Niedrigstrahlung?, in: E.Gärtner, Grünbuch VI, Pahl-Rugenstein, 1988
- 10 A. Kaul auf der Anhörung der SPD-Bundestagsfraktion zur Novellierung der Strahlenschutzverordnung am 23.8.1988
- 11 W.Jacobi, Betrachtungen zur Festlegung der höchstzulässigen Strahlenexposition des Menschen, in: Aurand et al., Die natürliche Strahlenexposition des Menschen, Stuttgart, 1974
- 12 H.Edelhäuser, Radioökologische Fragen beim Vollzug der StrlSchV, in: Bundesminister des Inneren, Radioökologiesymposium, Stuttgart, 1981
- 13 Protokoll der 11. Sitzung der Fachkommission IV "Strahlenschutz und Sicherheit" der Deutschen Atomkommission vom 13.10.1969
- 14 Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Thirteenth Session Suppl. No. 17 (A/3838), New York 1958, VI-13 ff
- 15 ICRP 1, Abs. 19
- 16 siehe Zitat 1, S.36
- 17 ICRP 1, Abs. 45
- 18 ICRP 9, Abs. 52
- 19 ICRP 26, Abs. 12
- 20 ICRP 1, Abs. 17 und ICRP 9, Abs. 35
- 21 ICRP XX und ICRP 26, Abs. 69ff
- 22 ICRP, Cost-Benefit Analysis in the Optimization of Radiation Protection, ICRP-Publication 37, 1982
- 23 L.A.Sagan, Human Costs of Nuclear Power, Science 177, 1972, 487
- 24 G. Mooney, Economics, Medicine and Health Care, Harvester Press, 1986
- 25 zit. nach M.W.Jones-Lee, The Value of Life, Martin Robertson & Co., 1976
- 26 H.Jammet, J.Lombard, Towards a General Model of Health Detriment Cost Evaluation, Health Physics 52, 1987, 91
- 27 OECD, Statistics on the Member Countries, 1988 Edition, Paris
- 28 Umweltbundesamt, Kosten der Umweltverschmutzung, Tagungsband zum Symposium im Bundesministerium des Innern am 12. und 13. September 1985, UBA-Berichte 7/86; W. Schulze, Bessere Luft, was ist sie uns wert?, Eine gesellschaftliche Bedarfsanalyse auf der Basis individueller Zahlungsbereitschaft, UBA-Texte 25/85
- 29 Jones-Lee (1976), S. 142
- 30 B.Lindell, Radiation and Man, Health Physics 31, 1976, 265
- 31 ICRP 37, Abs. 97, bei einem Risikofaktor von 10⁻²/Pers.Sv

32 siehe hierzu auch: M. Schmidt, Das Strahlenrisiko von Tschernobyl, ifeu-Bericht Nr. 49, Heidelberg, 1987



